

Desorientação Espacial de Causa Vestibular na Aviação

Revisão

Aluna: Ana Martins Rodrigues

Orientador: Dr. Marco Simão

Coorientador: Dr. Eduardo Ferreira

Clínica Universitária de Otorrinolaringologia



Faculdade de Medicina da Universidade de Lisboa – 6º Ano

Academia da Força Aérea Portuguesa

2016

Índice

Resumo / Palavras-chave.....	3
<i>Abstract/ keywords</i>	3
Glossário	5
Introdução.....	8
Parte I - Sistema Vestibular e Vertigem	9
Anatomia do Sistema Vestibular.....	9
Fisiologia do Equilíbrio	12
Vertigem e Nistagmo	16
Parte II – Conceitos básicos e Orientação em voo	18
Conceitos básicos	18
Orientação em voo	22
Parte III – Desorientação Espacial de Causa Vestibular	27
DE – conceitos.....	27
Mecanismos das Ilusões Vestibulares.....	29
Vertigem Alternobárica, Enjoo de Movimento e predisposição para a DE.....	36
Parte IV – Prevenção de Acidentes e Reabilitação Vestibular	40
Prevenção de Acidentes	40
Mecanismos de Treino e Reabilitação Vestibular	40
Resposta médica a outras situações	46
Treino, seleção e sugestões para o futuro	48
Conclusão.....	52
Agradecimentos.....	53
Anexo (Entrevistas).....	54
Bibliografia.....	57

Resumo

Na ausência de patologia e em situações quotidianas, é expectável que os sistemas responsáveis pelo equilíbrio (vestibular, visual e proprioceptivo) não entrem em conflito. No entanto, em voo a alteração dos referenciais do piloto, as acelerações e a força $>1G$, estimulam de forma diferente o ouvido interno, podendo levar a desorientação espacial (perda ou errada percepção da posição do avião) de causa vestibular. Algumas ilusões desencadeadas estão maioritariamente relacionadas com os canais semicirculares (detetam acelerações angulares), outras com os otólitos (sáculo e utrículo respondem a acelerações lineares, sendo suscetíveis às acelerações e a grandes forças G). Também a vertigem alternobárica (resultado de deficiente equalização de pressões na trompa de Eustáquio) e o enjoo de movimento causam desorientação. Os testes médicos de seleção dos novos pilotos excluem patologias do sistema vestibular, pelo que estas são geralmente respostas fisiológicas. Deste modo, o melhor treino para estas situações será o reconhecimento e adaptação: o *briefing*, o treino em voo, o uso de simuladores e da cadeira rotatória (CR) permitirão ao piloto reconhece-las, ignorar as suas percepções, e confiar mais nos instrumentos. Em caso de enjoo de movimento continuado, algumas técnicas de reabilitação vestibular podem ser uteis, como a CR com fixação e as provas optocinéticas. Estas têm também potencial para serem aplicadas na seleção e treino dos pilotos.

Palavras-chave: anatomia do sistema vestibular; ouvido interno; vias vestibulares; fisiologia do equilíbrio; pilotos; desorientação em voo; vertigem e tonturas; enjoo de movimento; desorientação espacial; desorientação vestibular; ilusões vestibulares; vertigem alternobárica; barotrauma; performance em voo; reabilitação vestibular; simulador de voo; prova de Barany.

Abstract

In the absence of pathology and under usual conditions, the interaction between the systems responsible for equilibrium (vestibular, visual and proprioceptive) is not expected to be conflictuous. However, during flight, the unusual positional referential, the accelerations and $>1G$ Force, stimulate the inner ear in a different way. This may lead to spatial desorientation (loss or wrong perception of the aircraft's position) due to a vestibular cause. Some triggered illusions are mostly related to the semicircular canals

(respond to angular accelerations), others to the otolith organs (sacculle and utricle respond to linear accelerations, being susceptible to acceleration and excessive G force effect). Alternobaric vertigo (a result of inadequate equalization of pressure in the Eustachian tube), and motion sickness may also lead to disorientation. Medical tests exclude vestibular disorders, so the ones that may occur are usually physiological responses. Therefore, the best training to prevent them is their recognition and adaptation, through the briefing, the use of the rotary chair (RC) and by training in flight simulators. These will allow the pilot to recognize them, ignore his perceptions and to rely more on the instruments. In case of continuous motion sickness, some vestibular rehabilitation techniques may be useful, such as RC with fixation and optokinetic tests. These techniques also have the potential to be used in the admission and pilots' training.

Keywords: anatomy of the vestibular system; inner ear; vestibular pathways; equilibrium physiology, pilots and flight disorientation, dizziness and vertigo, motion sickness, spatial disorientation, vestibular disorientation, vestibular illusions, alternobaric vertigo, barotrauma, flight performance, vestibular rehabilitation, flight simulator, Barany's test.

Glossário

Aceleração Centrípeta - Força que atua num corpo durante uma trajetória curva. Centrípeta significa literalmente: o que se dirige para o centro.

Acidente - acontecimento inesperado e desagradável, com consequências negativas.

AFA - Academia da Força Aérea.

Ângulo de ataque - é o ângulo que a corda da asa faz com velocidade relativa do ar.

Ângulo de ataque crítico - ângulo de ataque a partir do qual o fluxo de ar que passa pela asa deixa de ser linear e passa a turbulento, aumentando o atrito, levando à perda da sustentação e perda de altitude do avião.

Atitude do Avião – Orientação do avião (medida em graus) em relação ao eixo de *roll* e de *pitch*.

CMA - Centro de Medicina Aeronáutica (Força Aérea Portuguesa).

Coping - do verbo inglês “*to cope*”, ação de “lidar adequadamente com uma situação”, superando as dificuldades ou limites que essa situação apresenta.

CPSIFA - Centro de Psicologia da Força Aérea.

DE - Desorientação Espacial.

Discharge rate - literalmente frequência de descarga, refere-se ao potencial de ação das células.

Doença de Menière - doença de etiologia desconhecida, hipoteticamente causada pela acumulação da endolinfa levando a episódios de vertigem, acufenos e sensação de plenitude auricular.

FA - Força Aérea (referente a Força Aérea Portuguesa).

IFR - *Instrument Flight Rules*, Conjunto de regras e regulamentos para voar com base nos instrumentos de voo, por não ser seguro confiar nas referências visuais.

Insight - percepção, discernimento, visão.

IMC - *Instrument Meteorological conditions*, condições meteorológicas em que é necessário voar com recurso aos instrumentos. Tipicamente diz respeito a mau tempo baixa visibilidade.

Incidentes - É um episódio imprevisto que altera o desenrolar dos acontecimentos, mas sem consequências desastrosas.

Manche - Instrumento utilizado para controlar as superfícies de voo do avião.

Posturografia Dinâmica Computadorizada - Avalia a via vestibulo-espinhal, sendo um exame complementar importante para diagnosticar um distúrbio do equilíbrio corporal e se esse mesmo distúrbio é consequente de um problema da aferência ou integração sensorial, a uma resposta motora ineficiente ou a uma combinação dos dois.

SNC - Sistema Nervoso Central.

STF - Secção de Treino Fisiológico (Força Aérea Portuguesa).

Valsalva (Manobra): Manobra de expiração forçada com as vias aéreas fechadas. Usada para equalizar as pressões nas duas trompas de Eustáquio.

VFR - *Visual flight rules*, conjunto de regras para voar quando o piloto tem condições visuais para controlar a atitude do avião, navegar e evitar obstáculos e outros aviões.

VMC - *Visual meteorological conditions*, condições em que o voo VFR é permitido, ou seja, em que o piloto tem visibilidade suficiente para manter a separação ao terreno e dos outros aviões.

VNG - Videonistagmografia – Técnica instrumental, não invasiva, baseada no registo em vídeo (câmaras com fonte de luz IV) e gráfico dos movimentos oculares espontâneos ou provocados por movimentação cefálica, estímulos visuais e calóricos.

VOR - Vestíbulo-ocular reflex (Reflexo vestibulo-ocular).

VSR - Vestibulo-spinal reflex (Reflexo vestibulo-espinhal).

Introdução

Passados mais de 100 anos desde a conquista do sonho de voar, o grande desenvolvimento tecnológico que nos permite fazê-lo confortavelmente em verdadeiros gigantes de metal, ou que desafia a capacidade humana no voo em jatos militares, facilmente nos faz esquecer que, embora a máquina seja construída para voar, o Homem não o é. Ao ser sujeito a variações ambientais muitas vezes bruscas, num contexto extremamente exigente em termos de coordenação psico-motora, o piloto sofre alterações psicofisiológicas que podem culminar na sua desorientação em voo e, em último caso, incapacidade para controlar o avião. Das causas que levam à desorientação do piloto, destacam-se as vestibulares, sendo este sistema especialmente propenso a gerar conflito em voo.

O objetivo deste trabalho foi, numa primeira fase, realizar uma sistematização das formas de desorientação vestibular existentes, associada à compreensão dos respetivos mecanismos fisiológicos e, numa segunda fase, dar resposta às seguintes perguntas: como prevenir as consequências da desorientação espacial de causa vestibular e o que é feito no caso concreto da Força Aérea (FA)? O que mais poderia ser feito na seleção e treino dos pilotos? Para responder a estas questões, foi necessário rever a anatomia e fisiologia do sistema vestibular em condições normais e em voo, entender alguns conceitos e manobras básicas do mesmo e rever os métodos de reabilitação vestibular.

A metodologia adotada baseou-se no recurso a artigos científicos e literatura sobre sistema vestibular, fisiologia de voo, reabilitação vestibular e manuais de instrução e ainda à realização de entrevistas na FA sobre o tema.

Trust your instruments: they are made to fly, you are not.

(anónimo)

Parte 1 – O Sistema Vestibular e Vertigem

O sistema vestibular regula a posição e movimento corporal, através de um sistema complexo que integra os *inputs* do sistema vestibular periférico, visuais e proprioceptivos. Todos estes estímulos são por sua vez integrados no complexo nuclear vestibular e regulados pelo cerebelo¹.

Anatomia do sistema vestibular

O sistema vestibular pode ser dividido em central e periférico, sendo este último composto por 5 órgãos distintos: 3 canais semicirculares e 2 órgãos otolíticos - sáculo e utrículo.²

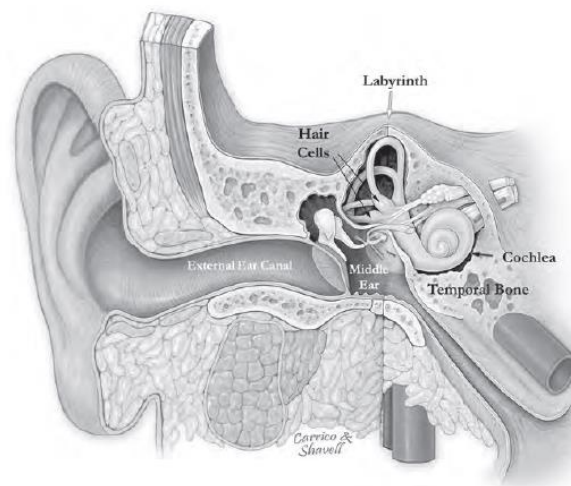


Imagem 1 - Aparelho Vestibular¹

Sistema vestibular periférico

O sistema vestibular periférico está localizado no ouvido interno, ou labirinto, o qual se divide em ósseo e membranoso. O labirinto ósseo está preenchido com fluido perilinfático que, através do aqueduto coclear, comunica com o líquido cefalorraquidiano. Suspenso no líquido perilinfático está o labirinto membranoso que contém a porção membranosa dos 3 canais semicirculares, o sáculo e o utrículo. O labirinto membranoso encontra-se preenchido por endolinfa e não deve estar em comunicação com o ósseo.¹

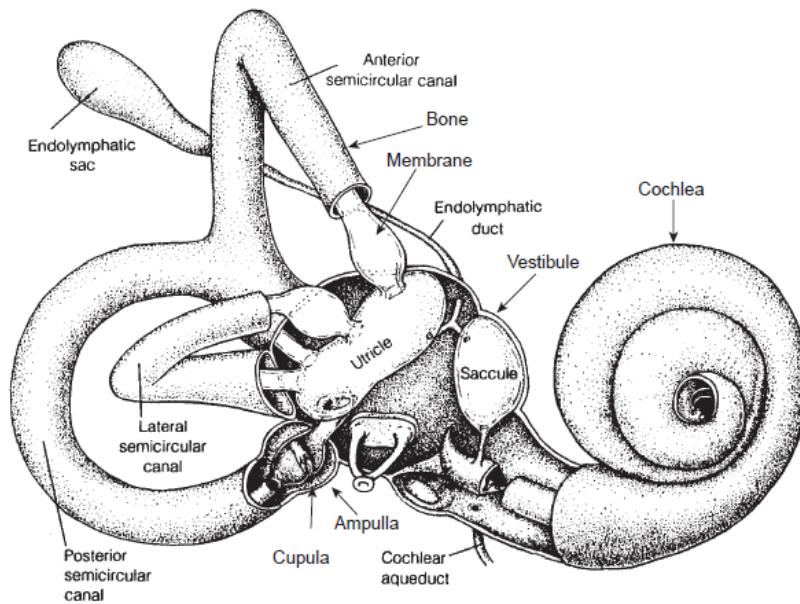


Imagem 2 - Labirinto Ósseo e Membranoso¹

O sáculo e o utrículo estão conectados ao ducto endolinfático via ducto utriculosacular. Os 3 canais semicirculares têm aberturas no utrículo.

Na região denominada mácula estão as células sensoriais (células ciliadas) que possuem, nos polos apicais, estereocílios que se estendem para uma membrana otoconial, a qual também é chamada de otocónia. Esta contém os otólitos (cristais de carbonato de cálcio³) envolvidos numa membrana gelatinosa.⁴ Cada mácula é dividida em duas por uma parte central – estriola - sendo que de ambos os lados as células têm polarização oposta.¹

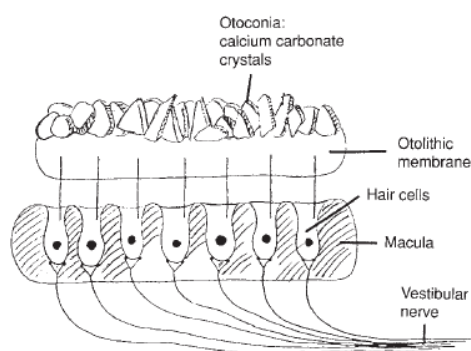


Imagem 3 - Mácula do Sáculo e Utrículo¹

Os canais semicirculares estão organizados em 3 pares complanares

- Os dois horizontais ou laterais,
- O anterior esquerdo e o posterior direito,
- O anterior direito e o posterior direito.

Em cada canal está presente uma zona dilatada – ampola - que contém o epitélio sensorial muito semelhante ao descrito anteriormente.¹ Na ampola, a *crista ampullaris* é uma zona de tecido de suporte, vasos e fibras nervosas onde se encontram as células sensoriais cujos estereocílios (de tamanho crescente até ao maior – quinocílio) estão todos orientados na mesma direção. O epitélio sensorial na crista está coberto por uma massa gelatinosa (formando a cúpula).³



Imagem 4 - Célula Sensorial⁶

Sistema Vestibular Central

As células sensoriais são inervadas por neurónios bipolares cujos núcleos se encontram no gânglio vestibular ou de Scarpa. O nervo vestibular (VIII par) é formado pelas projeções aferentes dos neurónios bipolares deste gânglio. De forma simplificada considera-se que o sistema vestibular central é constituído núcleos vestibulares da formação reticular e suas conexões.

A sua constituição mais detalhada será abordada na secção “Fisiologia do equilíbrio” no contexto das vias vestibulares.⁵

Fisiologia do equilíbrio

Otólitos – utrículo e sáculo

A mácula do utrículo situa-se no plano horizontal e a do sáculo no plano vertical, e em combinação os dois órgãos conseguem detetar acelerações lineares em qualquer plano do espaço.¹

A força da gravidade das células otoconiais (otocónias) é 2-3 vezes maior que a dos tecidos circundantes o que leva a que os cílios sejam curvados na direção da tração gravitacional⁶ pela força perpendicular à orientação dos mesmos¹, estimulando os terminais do nervo vestibular. Em cada mácula cada uma das células ciliadas é orientada numa direção diferente para que algumas delas sejam estimuladas quando deformadas para trás, outras para a frente e outras para o lado. Isto permite criar um padrão diferente de excitação para cada posição da cabeça, por forma a notificar o SNC sobre a orientação da mesma no espaço.⁶ Para além de manterem o equilíbrio estático, visto que detetam as posições de inclinação da cabeça (*static tilt*¹), também detetam a acelerações lineares: quando o corpo é subitamente empurrado para a frente ou para trás, tal é detetado pelo sáculo e utrículo.

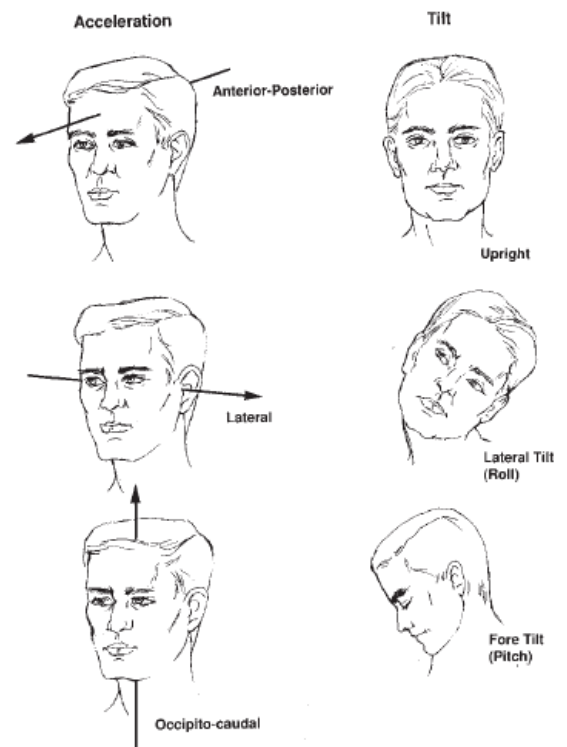


Imagem 5 - Tilt estático e acelerações lineares¹

Tomando como exemplo o caso do corpo empurrado para a frente, a inércia dos otólitos (que é maior que a da endolinfa circundante) faz com que caiam para trás e arrastem também para trás os estereocílios. Esta informação é enviada aos centros nervosos e leva à sensação de estar inclinado para trás. Consequentemente o indivíduo inclina-se para a frente até os cristais assumirem a posição de equilíbrio. Contudo, apenas a aceleração linear é detetada, o que não acontece com a velocidade linear: durante uma prova de atletismo o corredor inicialmente inclina-se para frente para impedir a queda devido à aceleração inicial, mas quando atingem a velocidade de corrida (ou seja quando não há aceleração linear) deixam de o fazer.⁶

Uma vez que há orientação simétrica em órgãos de diferentes lados da cabeça, esta “dupla informação” ao SNC permite proteção em caso de lesão unilateral. Para além disto o facto de em cada mácula a estríola separar duas zonas de polarização oposta (quando aumenta a descarga aferente de um lado diminui do outro), confere uma redundância extra que também ajuda a que os órgãos otolíticos sejam menos vulneráveis a lesões vestibulares unilaterais.¹

Canais semicirculares.

Estão dispostos por forma a fazerem entre si ângulos retos, o que permite que estejam orientados nos 3 planos do espaço. Quando a cabeça inicia uma rotação, a inércia do líquido⁶ (graças à viscosidade hidrodinâmica¹), num ou mais ductos, faz com que este permaneça estacionário, enquanto o ducto gira com a cabeça. Desta forma, este vai fluir do ducto e atravessar a ampola, deformando a cúpula e consequentemente os quinocílios e os esterocílios para o lado oposto ao do movimento e a informação da aceleração angular é enviada ao SNC. No que diz respeito aos canais horizontais, as células ciliadas são despolarizadas se o movimento ocorre na direção para a qual a cúpula está orientada e hiperpolarizadas no caso oposto – estimulação ampulípeta. Já nos canais verticais (anteriores e posteriores), a estimulação é ampulífuga – ocorre quando o líquido se afasta da cúpula.^{3 6}

Com um movimento de rotação contínua, é vencida a resistência inercial ao fluxo do fluido e a endolinfa começa a circular à velocidade de movimentação do canal o que leva a que a cúpula volte à sua posição de repouso no centro da ampola, devido ao fenómeno de retração elástica. Quando a rotação cessa, o canal para de girar, mas a endolinfa continua e a cúpula é deformada na direção oposta, o que termina ao fim de alguns segundos.

Simplificando: os canais semicirculares apenas detetam que a cabeça começou ou parou de girar para um lado ou para outro.

No que diz respeito à coordenação dos canais semicirculares contralaterais durante a rotação da cabeça, o arranjo dos esterocílios permite o estímulo contrário dos órgãos vestibulares complanares¹ esquerdo e direito.⁶ A organização complanar permite uma redundância de informação ao SNC que é útil, por exemplo em caso de lesão vestibular aguda periférica (vulgo nevrite) unilateral. Por outro lado, alterações de informações simultâneas de ambos os lados podem ser ignoradas desde que simétricas: alterações na temperatura ou alterações químicas.¹

Vias vestibulares

O nervo vestibular divide-se num ramo superior (informação proveniente dos canais semicirculares anterior, horizontal e utrículo), e num inferior (que transmite a informação proveniente do sáculo e do canal semicircular posterior)⁷. Este passa o canal auditivo interno junto com os ramos do nervo coclear e do facial¹ e, a partir daqui, as

fibras dividem-se em ascendentes e descendentes consoante o núcleo vestibular do tronco cerebral que vão inervar, havendo ainda algumas que vão diretamente para o cerebelo.² Estes núcleos recebem inervação *ipsi e contralateral* de aferências provenientes dos sistemas vestibular, propriocetivo (sentido de posição, músculos e articulações) e ótico, sendo as eferências emitidas para os núcleos que coordenam os sistemas motores mais importantes para a manutenção do equilíbrio. Estes localizam-se na medula espinhal (trato vestibulo espinhal), no cerebelo (controlo fino da motricidade - lobo flocunodular especialmente associado a regulação de equilíbrio dinâmico durante alterações de movimento rápidas e úvula no equilíbrio estático) e no tronco encefálico (núcleos oculomotores). São ainda enviadas eferências para o tálamo⁸ e córtex (a região insulo-parietal parece ser a responsável por nos transmitir a sensação tridimensional⁹) e para o hipotálamo (explica o reflexo de vômito durante uma vertigem).⁶

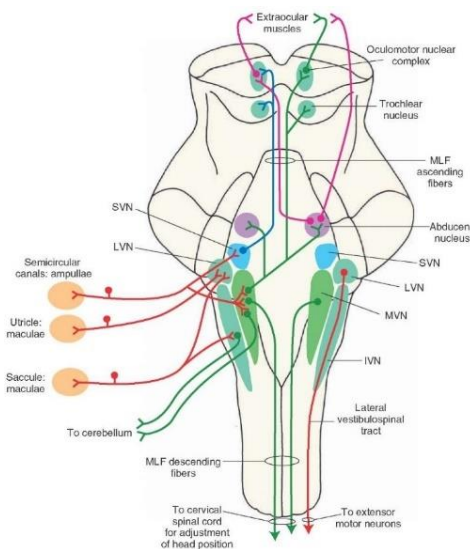


Imagem 6 - Vias vestibulares¹⁰

Reflexos do sistema vestibular

O VOR – reflexo vestibulo-ocular, atua para manter uma visão estável durante os movimentos da cabeça por forma a manter uma visão focada.¹ Tem duas componentes: uma linear (mediada pelo sáculo e utrículo, associada a alvos próximos e a movimentos de cabeça com relativa alta frequência) e outra angular (mediada pelos canais semicirculares e que compensa a rotação cefálica).^{1 11} A resposta motora do VOR é efetuada pelos neurónios motores do núcleo motor ocular (IV, VI e III pares), que recebe informação do trato vestibular pelo trato ascendente de Deiters. O estímulo aferente dirige-se inicialmente para os núcleos abducentes, conduzindo uma resposta excitatória

contralateral e inibitória ipsilateral e, a partir destes, percorre o fascículo medial horizontal até o núcleo oculomotor contra lateral, como descrito na seguinte figura em baixo.¹² O cerebelo recalcula e modifica a “*discharge rate*” dos neurónios do núcleo vestibular, para reduzir o erro, caso a velocidade ocular seja superior à de rotação da cabeça por mais de 2 segundos.¹

Exemplo:

1. Cabeça vira para a direita e o fluxo endolinfático deflete a cúpula para a esquerda.
2. Aumenta o *discharge rate* das células dos canais semicirculares à direita e diminui à esquerda.
3. Informação é transmitida aos neurónios vestibulares e do cerebelo.
4. Impulsos excitatórios e inibitórios são enviados para os núcleos do III e VI pares o que ativa o reto medial a direita e o lateral à esquerda.
5. Contração dos retos origina movimentos oculares compensatórios para a esquerda.

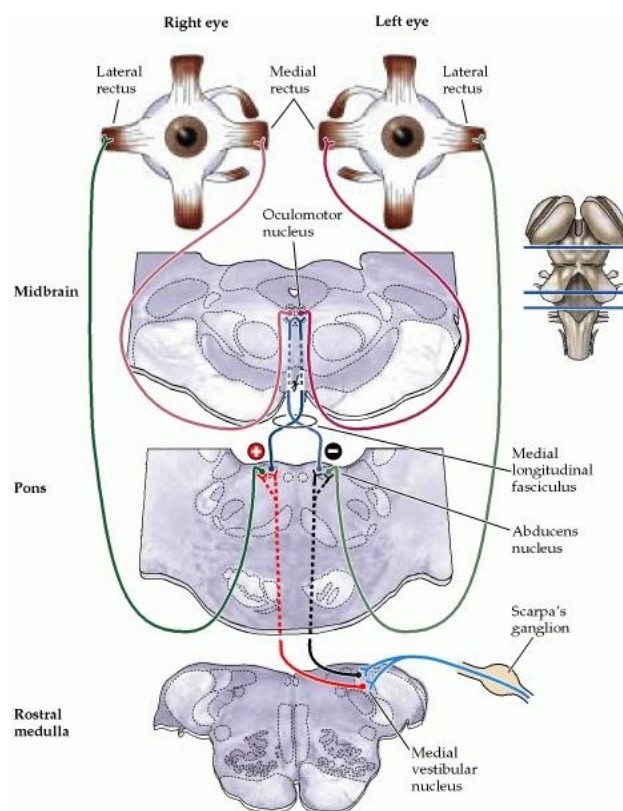


Imagem 7 - Reflexo Oculo-Vestibular¹¹

O VSR - reflexo vestibulo-espinal - tem o objetivo de estabilizar o corpo e manter a postura. Para compensar alterações no centro de gravidade, várias células musculares

podem ser ativadas, por forma a criar movimentos de rotação, mas também de translação, o que torna este sistema bem mais complexo que o associado ao VOR. Por isto, não uma mas duas vias ligam o núcleo vestibular às células do corno anterior da medula: via vestibulo-espinhal lateral (informação dos otólitos e cerebelo que gera postura anti-gravítica) e medial (resposta ao *input* dos canais circulares).

Em resumo:

1. Cabeça inclinada para um lado, leva a que haja maior estimulação dos otólitos desse lado devido ao movimento da endolinfa.
2. Ativação do nervo e núcleo vestibular.
3. Impulsos são transmitidos pelas vias motoras interna (medial) e lateral.
4. Há atividade extensora do lado inclinado e flexora do contralateral.

Vertigem e Nistagmo

Definição e Manifestações de Vertigem

Considera-se que o conceito de vertigem integra tanto uma perturbação da orientação espacial, como uma percepção ilusória de movimento do corpo e/ou do exterior em relação a nós.¹³ Tipicamente, o doente vai queixar-se de sensação ilusória de rotação horária (esquerda para a direita) ou anti-horária ou de movimento rítmico numa dada direção, do ambiente em relação ao próprio ou dele em relação ao ambiente.^{14 7} O principal diagnóstico diferencial é feito com as tonturas, termo inespecífico que engloba tanto vertigem, como sensação de perda de conhecimento eminente, dificuldade em concentrar-se ou organizar o pensamento, sensação de cabeça leve e alteração transitória da consciência.^{5 14}

Existem ainda vários sintomas que classicamente acompanham a vertigem: palidez, sudção, sensação de desfalecimento, cefaleias, bradicardia, náuseas e vômitos.⁵

14

Classificação das Vertigens

Os quadros de vertigem podem classificar-se segundo: etiologia (traumática , posicional, psicogénica, fisiológica ou vestibular), localização da lesão/disfunção (vertigem central ou periférica), duração, modo de instalação, fatores desencadeantes e ainda evolução (se é episódico, de instalação súbita, de regressão progressiva ou crónica).^{13 7}

Vertigem Fisiológica

Mediante certos estímulos, a resposta fisiológica do organismo será a vertigem. Temos como exemplo as situações a que os pilotos estão sujeitos e que, mesmo sem haver lesão orgânica, levam a situações de vertigem e desorientação espacial que serão abordadas no capítulo seguinte.¹³

Nistagmo

O nistagmo é um movimento ocular involuntário (geralmente conjugado, em que os “dois olhos se deslocam em eixos visuais paralelos”)⁷, sendo que a sucessão de movimentos muda alternadamente de sentido. O nistagmo pode ter origem ocular (nistagmo oscilatório ou pendular), da insuficiência tônica dos músculos oculares (abalos nistagmiformes - nistagmo da posição extrema do olhar e nistagmo parético), ou no sistema vestibular periférico ou central. No que concerne ao nistagmo vestibular periférico, este traduz desequilíbrios entre as informações fornecidas pelos dois labirintos, que se traduzem em dois movimentos fásicos sucessivos e alternados: um de fase rápida (define o sentido do nistagmo) e um de fase lenta, em sentidos opostos, podendo ser horizontal, rotatório ou combinado.¹⁴ Em termos gerais, em caso de déficit o nistagmo bate para o lado oposto à lesão e nos processos irritativos para o lado lesado. Já o nistagmo de causa vestibular central geralmente é puro horizontal ou vertical,⁷ sendo que o nistagmo vertical é sinal de alarme para patologia cerebral.⁵

O nistagmo pode também ser uma resposta fisiológica desencadeada por estímulos/situações específicas, como é o caso do nistagmo rotacional (ocorre em resposta a um movimento de rotação), optocinético (movimento reflexo dos olhos – VOR- ao seguir um objeto em movimento contínuo) e do pós-rotacional.¹⁵

Parte 2- Conceitos básicos e Orientação em voo

A orientação durante o voo é essencial na prevenção de acidentes e incidentes: a capacidade de um piloto se manter orientado, reconhecer quando não o está, saber interpretar os instrumentos de voo e conseguir corrigir a posição do avião ou interromper determinada manobra são de extrema importância.¹⁶ Por isto, a formação dos pilotos dá cada vez mais ênfase à necessidade deste saber onde o avião está, onde esteve e para onde vai, nas 4 dimensões do voo – atitude do avião, altitude, velocidade e tempo¹⁷, de forma a que as suas percepções sejam equivalentes à realidade.

Conceitos Básicos do Voo

O que permite a um avião manter-se em voo são as suas asas, graças à sua superfície superior curva e inferior plana que permitem a criação da força de sustentação (*lift*).

Para além desta, as forças exercidas no avião durante o voo são: o arrasto (*drag*), o peso e a força propulsora (*thrust*) que permite que o avião se mova “para a frente”.

Durante o voo, o piloto está também sujeito a forças gravitoinerciais: a força G é o resultado de uma aceleração resultante dos vetores força gravítica e inercial (em módulo é igual à aceleração do avião). É assim igual ao ratio entre a aceleração e força gravítica. Em repouso na superfície terrestre estamos apenas sujeitos a 1G, mas as acelerações provocadas por aeronaves de alta performance, como o F-16, levam a que se atinjam forças de 7G ou mais (estas não podem ser aguentadas por mais que alguns segundos pelo corpo humano).^{18 19}

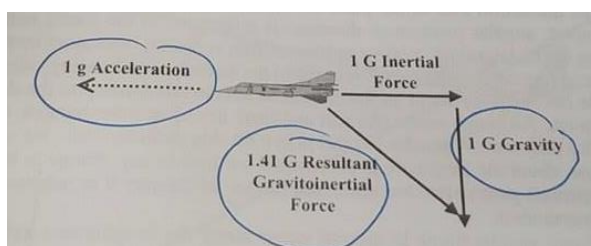


Imagem 8- Força G²⁰

Instrumentos básicos

O T-básico constitui um conjunto de 4 instrumentos que, embora com determinadas variações na disposição e forma de leitura/apresentação, constitui o painel de instrumentos básicos presente em todos os aviões. Este conjunto está geralmente associado a outros 2 instrumentos, que ao todo constituem os 6 instrumentos essenciais

de uma aeronave. Estes permitem ao piloto perceber exatamente como está a voar, sendo especialmente importantes para se orientar em condições meteorológicas adversas.



Imagem 9 - T Básico : De cima para baixo, esquerda para a direita: velocímetro, horizonte artificial, altímetro, coordenador de voltas, indicador de rumos e indicador de velocidade vertical.²¹

Passa-se à breve descrição dos 6:

Altímetro – Mede a altitude (distância vertical entre o avião e algum ponto ou nível de referência), acima de determinado nível de pressão.

Indicador de Velocidade Vertical – indica se o avião está a subir, a descer ou a voar em nível.

Velocímetro – Indica a velocidade relativa do ar.

Pau e bola – O pau indica se a aeronave está a voar em linha reta ou não, ou seja, se o avião mantém o rumo, e a bola indica se a volta está a ser realizada de forma coordenada (sem dissipar energia). O coordenador de curvas pode ser usado alternativamente.

Indicador de Rumos/Bússola giroscópica – Instrumento que indica ao piloto a direção em graus (relativamente ao norte magnético) em que está a voar.

Horizonte Artificial – É o indicador da atitude do avião em relação ao horizonte. É extremamente útil como sinal de alerta, caso o piloto se desoriente ou perca os seus pontos de referência, como por exemplo durante voo noturno. Contudo apenas indica a atitude e suas variações, mas não informa se o avião está a subir, a descer ou em voo nivelado, sendo que a informação dada por este instrumento tem de ser complementada com a dos restantes.²¹

Manobras básicas

Há manobras que são mais suscetíveis a gerar desorientação que outras, pelo que é necessária uma breve descrição daquelas que serão referidas ao longo do trabalho.

As manobras básicas resultam das combinações dos movimentos básicos efetuados com o avião: *Bank/Roll/Lean* (inclinar lateralmente o avião), *Pitch* (levantar e baixar o nariz do avião, subindo ou descendo) e *yaw* (guinar/virar para a esquerda ou direita). Cada uma é feita num dos 3 eixos de movimento do avião, que têm a mesma designação. Existem dois tipos de movimentos base do avião: linear (translação que pode ser retilínea ou curvilínea) e angular (rotação).

As quatro manobras básicas que o piloto pode efetuar são: voo de nível, voltas, subidas e descidas.²²

No que diz respeito às manobras mais suscetíveis a desorientar o piloto, destacam-se:

- Inclinações laterais (*leans*) do avião;
- Volta coordenada - Consiste numa volta para a direita ou a esquerda a um ângulo de inclinação lateral constante.

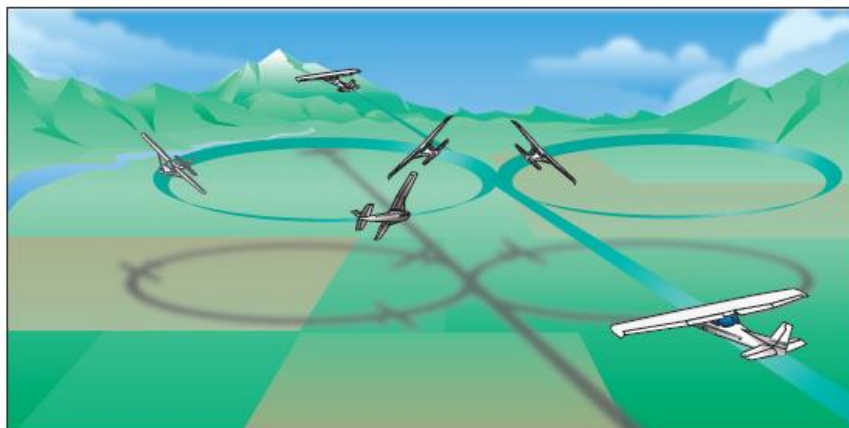


Imagem 10 - Volta Coordenada²¹

- Espiral

Diz respeito a voltas sucessivas descendentes, de raio mantido.

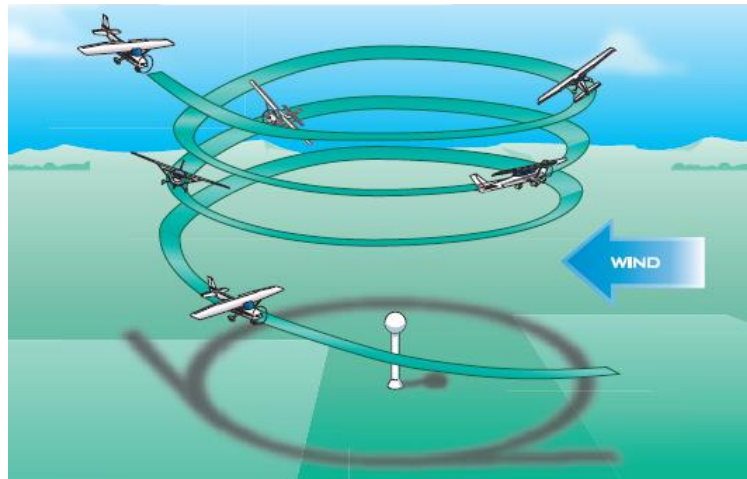


Imagem 11 - Espiral²¹

- *Vrille* ou *Spin*

Dizem respeito a perdas descoordenadas de um avião. O *spin* ou *vrille* acontece quando não se recupera o avião do ângulo crítico – 15° , entrando uma asa primeiro em perda que a outra. Mais concretamente o avião desce em rotação ao longo de um eixo vertical por ação da gravidade.

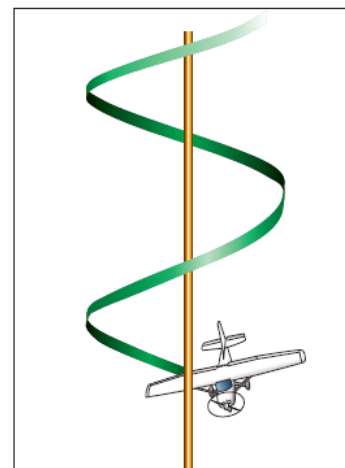


Imagem 12 -Spin²¹

- Tonneaux barrilado

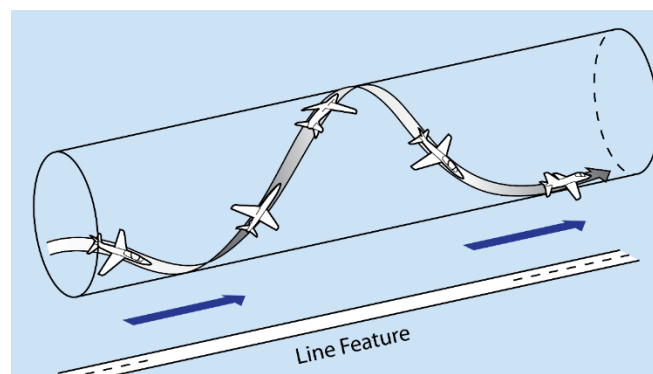


Imagem 13 - tonneaux²³

Nesta manobra, o avião faz uma rotação longitudinal completa ao mesmo tempo que segue uma trajetória helicoidal.

Orientação em Voo

A orientação em voo depende da combinação da informação dada ao SNC pelos canais semicirculares, utrículo e sáculo, pelo sistema proprioceptivo e pelo sistema visual. Estes permitem que o piloto determine a sua posição corporal e o movimento que está a ocorrer no avião.¹⁶ O principal problema em relação à orientação em voo é que o referencial imediato do piloto – o avião – está também em movimento, relativamente à superfície da terra e ao campo gravitacional.

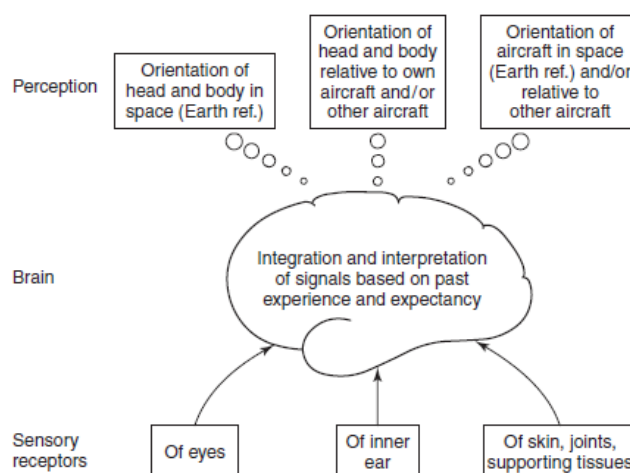


Imagem 14 - Componentes da Orientação em Voo²⁴

Para ultrapassar esta dificuldade, o piloto tem de ter outras referências espaciais, nomeadamente a sua posição e postura mantida no cockpit, que lhe permite assumir que o avião e ele se movem como um, mantendo a mesma posição e atitude em relação à superfície da terra. Desta forma, os sinais transmitidos pelo ouvido interno dizem respeito ao binómio piloto + avião. Também a correta interpretação dos sinais visuais exteriores e leitura dos instrumentos (reconhecer o rumo, e a atitude do avião em relação ao horizonte) é de extrema importância e requer, como já referido, treino em termos de agilidade motora e mental.²⁴

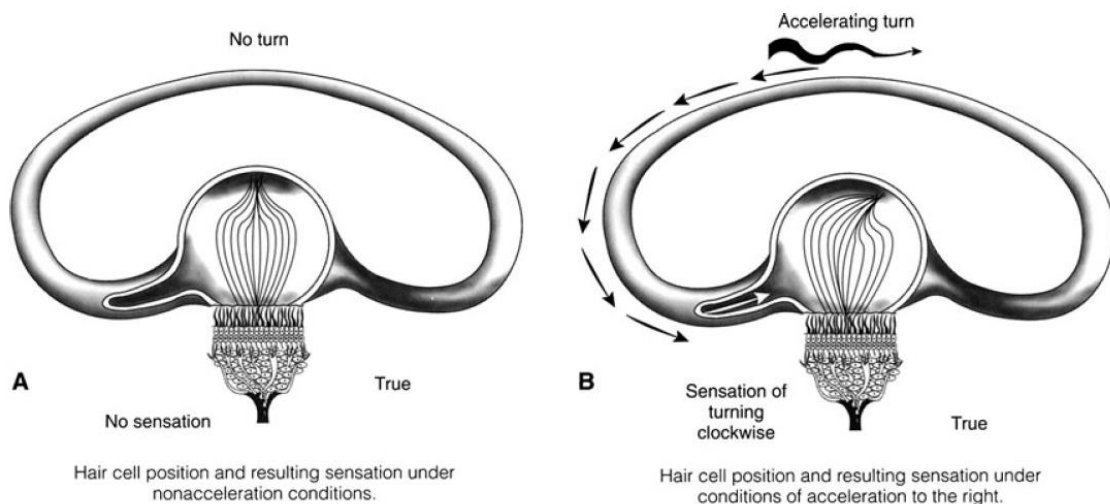
Visão e Orientação em Voo

Em relação ao sistema visual, a visão de ambiente é importante para perceber a atitude do avião e as suas alterações durante o *pitch* e o *roll*, mas não dá uma boa percepção de distância, altitude e velocidade. Estas percepções são mais importantes em VMC –

Visual Meteorologic Conditions. Em situações de IMC – *Instrument Meteorologic Conditions* – e para ter uma melhor noção de distância, a descolar ou a aterrar, a visão focal (consciente e especializada na identificação dos objetos que se encontram no espaço – por exemplo: ler os instrumentos do painel de controlo), é a mais importante.²⁴

Sistemas vestibular e propriocetivo e orientação em Voo.

No que diz respeito ao sistema vestibular, os canais semicirculares permitem determinar acelerações angulares (como o início de uma curva em voo) e também as desacelerações associadas, com um certo atraso na resposta enquanto a endolinfa se move pelos canais. Contudo, durante o voo há duas situações a considerar: por um lado, rotações de muito baixa intensidade não são detetadas e por outro, durante uma curva mantida à mesma velocidade ou em voo de nível, os canais não detetam qualquer alteração o que pode induzir erros durante um *roll* mantido. Neste caso a cúpula volta à posição neutra não sinalizando que se está a curvar após 10-15s, e quando o piloto desfaz o *roll* para voar em nível (após 20-30s), é sentida uma aceleração angular como se estivesse a inclinar para o lado oposto. Assim que o piloto estabiliza, o mesmo irá acontecer no canal semicircular, contudo isto acontece de forma lenta o que pode desorientar o piloto.



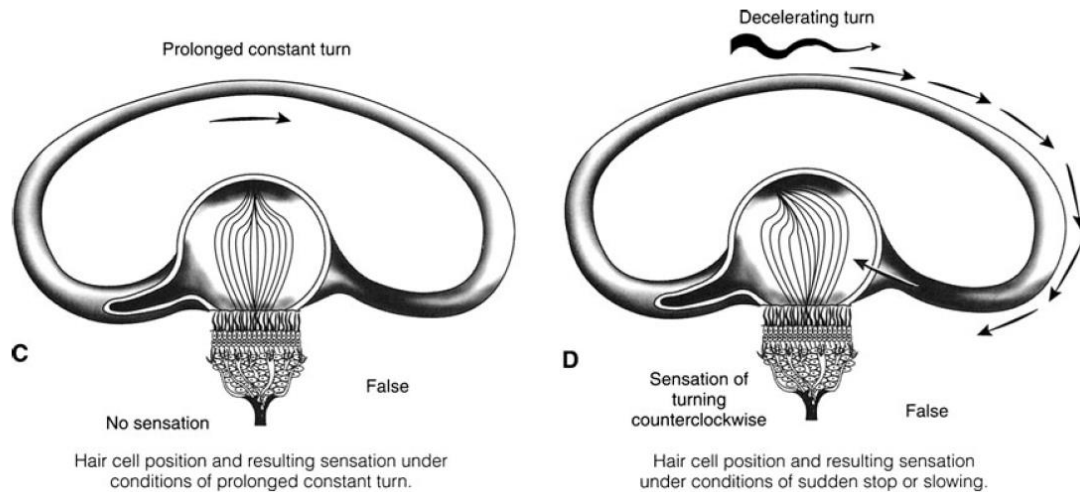


Imagem 15 – Movimento da endolinfa nos canais semicirculares em voo.¹⁶

Os canais semicirculares estão orientados em 3 eixos perpendiculares entre si, sendo possível fazer um paralelismo com os três eixos de movimento do avião: *pitch*, *yaw* e *roll*. Há que ter em conta que os canais verticais estão emparelhados, portanto, se um posterior sente um *pitch*, o anterior contralateral, também o vai sentir.¹⁶

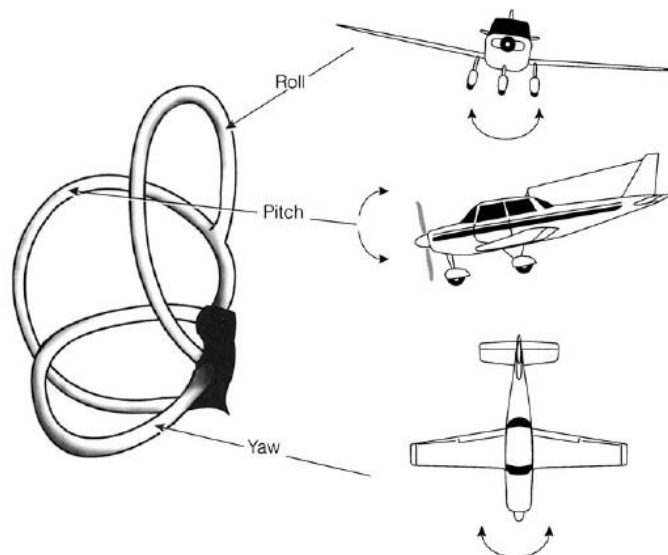


Imagem 16 - Orientação dos canais semicirculares e eixos de movimento do avião¹⁶

Concluindo:

- Durante o *yaw* (guinada), os dois canais horizontais são ativados (um estimulado e outro inibido);

- Durante o *roll*, o canal anterior desse lado e o posterior do outro são ativados (um estimulado e outro inibido);
- Durante o *pitch*, o canal posterior de um lado e o anterior contralateral são ativados (um estimulado e outro inibido).²⁵

Já o Sáculo e o Utrículo respondem a alterações da posição da cabeça relativas à direção da gravidade, e também a acelerações lineares (já que as forças inerciais resultantes não são distinguíveis fisicamente da força da gravidade), que são sentidas como inclinações para trás, como indica a imagem inferior.¹⁶

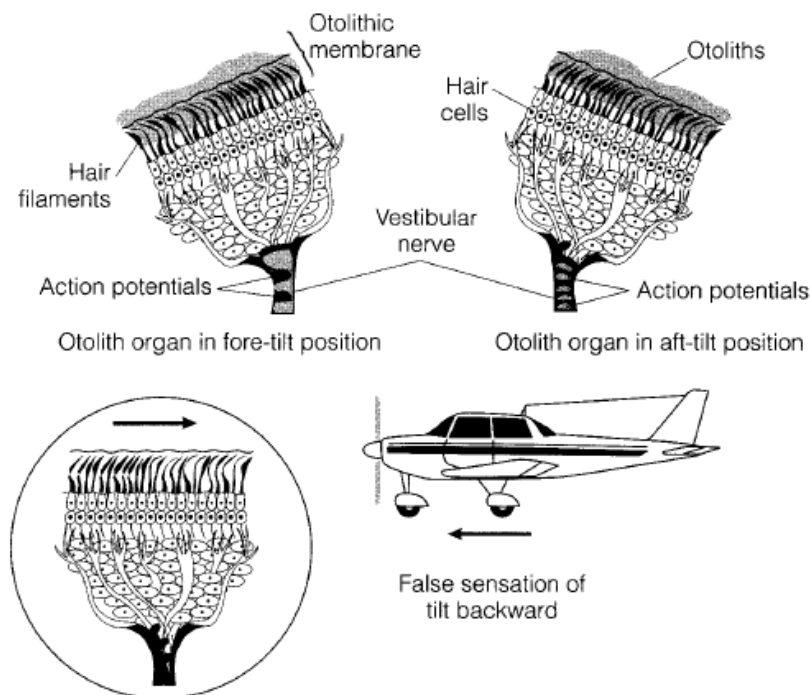


Imagem 17- percepção de acelerações lineares em voo¹⁶

Tal tem duas consequências: em primeiro lugar, o estímulo efetivo à mácula (no plano paralelo a esta) é o mesmo, quando a cabeça é inclinada em relação à gravidade (exemplo durante o *pitch* no plano sagital) e quando a cabeça é sujeita a uma aceleração ântero-posterior associada à aceleração gravitacional. Desta forma, durante uma aceleração mantida, há ambiguidade na medida em que a força G resultante da aceleração horizontal é indistinguível de uma inclinação da cabeça ântero-posterior com o mesmo ângulo da força G. Por outro lado, os otólitos não distinguem entre a força gravitacional e a sua resultante com a reação inercial (força G) e interpretam-na como sendo a verdadeira vertical.

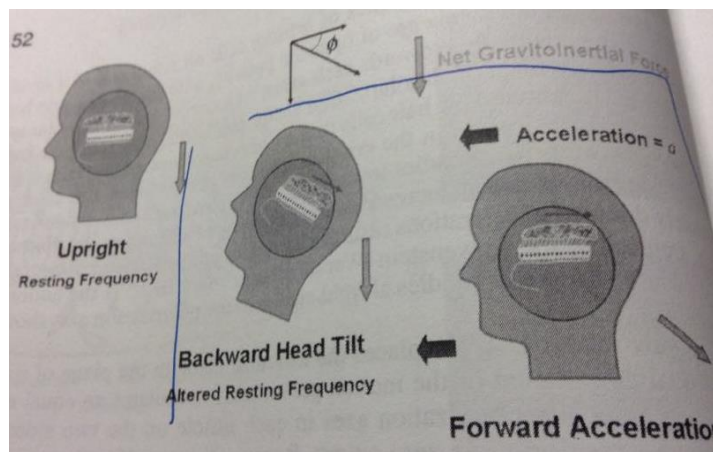


Imagem 18 - Percepção de acelerações lineares em voo²⁰

Importa referir que, para manter a orientação em voo, é de extrema importância o reflexo VOR explicado no primeiro capítulo, por forma a estabilizar a posição do olhar. Contudo em situações em que haja movimento angular da cabeça mantido (mais de 10/15s, por exemplo *spin* ou *roll* prolongado) gera-se um nistagmo vestibular: quando a cabeça começa a rodar, os olhos movem-se na direção oposta, mas, após um desvio de 10° da posição inicial, têm uma sacada rápida para a direção da volta e depois voltam a compensar de forma lenta. Quando a rotação persiste a uma velocidade angular constante, a velocidade do nistagmo diminui já que o estímulo dos canais semicirculares também o faz, podendo levar a percepção errada da localização de um alvo visual. Também a aceleração linear (por exemplo inclinação lateral da cabeça mantida) gera um movimento ocular compensatório embora menos preciso: “*ocular counter-rolling*”.

A contribuir para a orientação do piloto destaca-se ainda o sistema propriocetivo através de uma variedade de recetores sensoriais na pele, músculos e articulações que são estimulados pela aceleração G e detetam a posição do corpo em relação à gravidade vertical.²⁴

Parte 3 – Desorientação Espacial de Causa Vestibular

Desorientação espacial – conceitos

Definição e causas

A definição de Desorientação Espacial (DE) não é concordante em todas as fontes, o que leva a uma dificuldade extra em classificar dado acidente como consequência de DE contribuindo ainda mais para a disparidade de conclusões dos (poucos) estudos e levantamentos realizados até hoje. Segundo o livro *”Spatial Desorientation in Aviation”*, “desorientação espacial”, no contexto de aviação, é um termo usado para a perda de percepção ou percepção errada da posição do piloto e/ou da do avião em relação ao eixo de coordenadas fixo (referencial) constituído pela superfície da terra e gravidade vertical.²⁰

²⁵ Mais concretamente, há desorientação espacial quando não se consegue determinar ou se determina de forma errada o movimento, atitude, velocidade e altitude do avião. Esta definição abrange também erros de percepção relativos à posição/movimento e atitude do piloto em relação ao “seu” avião e em relação a outros aviões.²⁵

As causas para a ocorrência de desorientação espacial são variadas e a maioria das situações são respostas fisiológicas a estímulos de um ambiente que não é o normal para o ser humano. Assim, a sua ocorrência não está necessariamente relacionada com uma patologia do piloto, embora pilotos que não estejam a 100% física e psicologicamente sejam mais suscetíveis.¹⁶ ²⁵ Em termos etiológicos existem duas situações, não mutuamente exclusivas, a considerar: *input* errado ou inadequado do sistema sensorial (nomeadamente visual e vestibular) transmitido ao cérebro ou um erro central na percepção dessa informação (concentração apenas numa tarefa e erros de expectabilidade).

No que diz respeito às situações que podem potenciar a ocorrência de desorientação espacial, destacam-se fatores humanos como o stress, fadiga, resposta à hipóxia, medicamentos, baixa tolerância a Gs, diferenças de temperatura, problemas emocionais que reduzam a sua atenção, elevada carga de trabalho, experiência, proficiência em voo, quantidade de horas de voo em VMC e em IMC do piloto, o tipo de voo a efetuar (voo de formação por exemplo), a fase do voo (descolagem, aterragem, ataque ar-solo) e por fim fatores ambientais (como as más condições meteorológicas).²⁶

Significância operacional

A desorientação espacial é referida por quase todos os pilotos em algum momento da sua vida, nomeadamente durante as inclinações e voltas prolongadas, e é a causa principal de 15%- 25% dos acidentes e incidentes reportados, dependendo das fontes.²⁰

¹⁶ Contudo a frequência, tanto de incidentes como acidentes, é difícil de quantificar devido à reduzida quantidade de estudos feita, à não uniformização dos conceitos e à percepção individual dos pilotos em relação ao que é estar desorientado. Por outro lado, a falta de testemunho do piloto em caso de morte ou o facto de este não ter noção do que aconteceu (comum dadas as rápidas alterações e o grande stress associado aos acidentes) tornam difícil saber se este foi causado por desorientação espacial. Desta forma, o número de acidentes de facto associado pode ser muito superior ao número de casos relatados.

Formas e Tipos de Desorientação espacial

Há várias formas de classificar os diferentes tipos de desorientação espacial, nomeadamente tendo em conta a sua causa etiológica, os efeitos associados e a forma como o piloto percebeu a orientação em termos de *insight*.¹⁶ Desta forma, considerou-se a classificação do livro “*spatial disorientation in aviation*”:^{20 25} há várias formas de desorientação espacial (vestibular, visuais, propriocetivas/posturais, posicionais e temporais) e 3 tipos de desorientação:

- Tipo I: desorientação espacial não reconhecida - o piloto não tem consciência de que há algo de errado e atua nos comandos de acordo com as falsas sensações de atitude e movimento, não detetando qualquer disparidade entre as informações dos instrumentos e as suas sensações. É o que acontece quando não se apercebe que um instrumento não está a funcionar bem, ou quando há uma distração na leitura dos mesmos. Uma consequência é o chamado *Controlled Flight into Terrain* (CFIT), quando o piloto conduz diretamente a aeronave para o solo ou água sem ter essa noção até pouco antes do embate. É o tipo de desorientação que mais frequentemente causa acidentes.
- Tipo II: desorientação espacial reconhecida - o piloto reconhece que há algo de errado e tenta corrigir, mas desconhece que é a desorientação espacial a causa e suspeita de erro nos instrumentos. Neste tipo ou há discrepância entre o que os sentidos lhes dizem sobre a atitude do avião e a leitura nos instrumentos, ou há conflito entre dois sistemas como o vestibular e o visual. Um exemplo é a percepção

de estar a curvar quando está em nível, ou quando um piloto acaba por se ejetar para não ocorrer em CFIT, sobrevive e testemunha que percebeu que algo de errado se passava, mas não conseguia concluir como corrigir a situação.

- Tipo III: desorientação espacial incapacitante - o piloto sabe que existe algo de errado, mas o conflito sensorial ou o stress psicológico é tão grande que o julgamento do piloto fica bloqueado. Pode ter como causa, por exemplo, o nistagmo, que impede o piloto de conseguir ver os controlos do avião de forma apropriada, uma alteração cognitiva que impeça a resolução da situação, ou o fenómeno da “mão gigante”, referido mais à frente.^{26 27 20}

Frequentemente, um tipo de desorientação pode progredir para outro.

No que diz respeito às formas de desorientação espacial¹⁶ considera-se postural (ou propriocetiva – recetores da gravidade, extensão e pressão), vestibular (34% - 41% de todos os incidentes de DE), visual, posicional (perda de noção de onde está seja a nível cartográfico e geográfico ou de altitude entre outros) e temporal (subjativa - relaciona-se com a noção de tempo para realizar determinada tarefa, ou relação tempo /distância entre *checkpoints*). Mais uma vez, em muitas situações a distinção das diferentes formas não é fácil e em algumas ilusões vários sistemas estão afetados.

Mecanismos das Ilusões vestibulares

Perante um ambiente que é diferente do habitual 1G à superfície da Terra, o sistema vestibular é estimulado de maneira diferente, o que dá ao piloto informação conflituosa (a informação do sistema vestibular não coincide com a fornecida pelo sistema propriocetivo e com o que de facto está a acontecer ao avião), culminando na ocorrência de ilusões vestibulares.¹⁶

Ilusões envolvendo maioritariamente os canais semicirculares

Segundo a RNAF (*Royal Netherlands Air Force*), constituem a maior parte das ilusões que acometem os pilotos de F-16 (39%) e de F-5 (41%).²⁸

Ilusões Somatogiras ou de movimento angular

Têm como causa a não deteção de uma espiral mantida e o perceberem uma paragem na mesma como rotação no sentido oposto. Um exemplo é a *chamada Graveyard Spin*: quando o avião entra em *spin* as acelerações angulares são bem

percebidas, mas à medida que o movimento continua a velocidade torna-se constante e a cúpula deixa de estar deflectida. Quando o piloto recupera do *spin*, ou seja, a rotação abranda ou cessa a manobra, a cúpula é deflectida devido à inércia da endolinfa, para o lado oposto, e o piloto pensa que está a entrar em *spin* para esse lado. Se o piloto tentar corrigir este falso *spin*, vai voltar a entrar no *spin* original. A recuperação da ilusão é mais difícil a partir das 5 voltas descendentes a 3 segundos por volta.

A *graveyard spin* (imagem inferior) ocorre quando o spin inicial é coordenado, ou seja, está a ser feita a curva com uma inclinação lateral do avião concomitante.²⁸

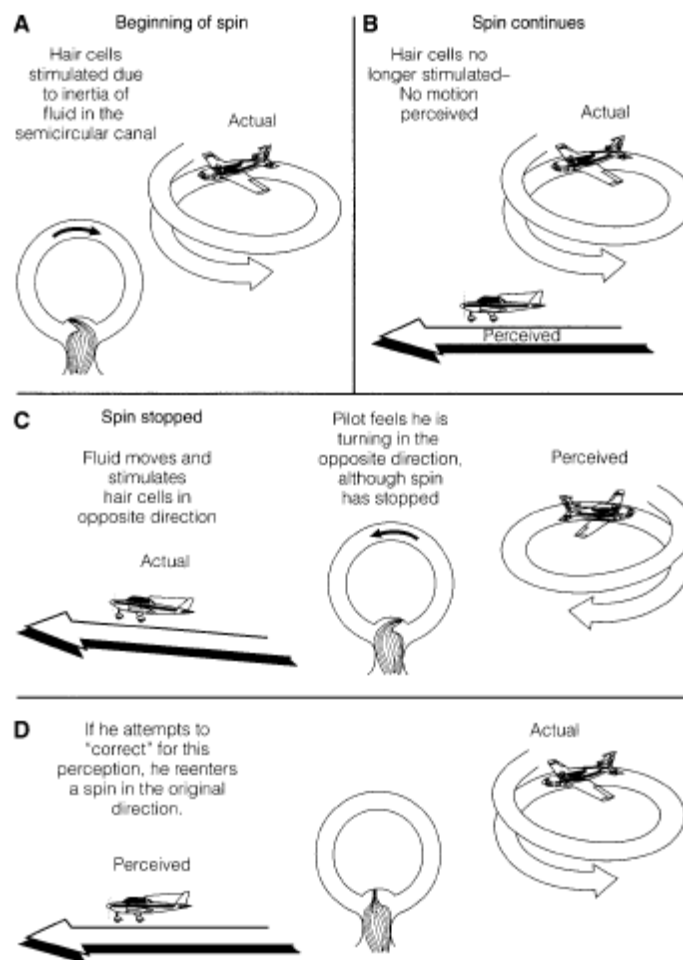


Imagem 19 - Ilusão Somatogira-graveyard spin¹⁶

A *ilusão oculogira* tem um mecanismo igual ao anteriormente descrito, mas ocorre não num spin (rotação descendente), mas numa curva em nível. Ao parar a curva, há aparente início de rotação para a direção contrária e ocorrência de nistagmo compensatório que leva a que os objetos no campo visual pareçam mover-se na direção oposta. Por este motivo, é uma ilusão mais descrita no âmbito das ilusões visuais.^{16 26}

A *Gillingham* ou *postroll illusion* tem o mesmo mecanismo, mas diz respeito a uma rotação em torno do eixo longitudinal/horizontal: no final de uma volta, o piloto sente que está inclinado e inclina-se para o lado contrário iniciando uma rotação para esse lado. Pode acontecer por exemplo, na realização de uma manobra de *tonneaux barrilado*.

28 16

Ilusão de Coriolis

A aceleração de Coriolis diz respeito à aceleração sentida por um corpo que se move a velocidade linear v à medida que é exposto a uma velocidade angular w num eixo ortogonal: $a=2vw$. Em fisiologia é um termo usado para descrever o efeito vestibular da inclinação da cabeça durante uma rotação de corpo inteiro. Assim, a ilusão diz respeito à sensação de movimento angular quando o piloto inclina a cabeça durante uma volta a velocidade constante para um ângulo contrário ao plano de rotação do avião.²⁸ Isto acontece porque, durante uma inclinação ou volta mantida, as cúpulas deixam de ser defletidas, mas quando o piloto tem um movimento de cabeça abrupto elas são estimuladas de acordo com o mesmo, enviando informação errada ao piloto sobre a atitude do avião, de modo que este sente que está a entrar num spin. Geralmente, há nistagmo de 30-40s associado.²⁶ Esta é das ilusões mais graves e incapacitantes que existem e, sem uma referência visual ao horizonte, facilmente pode impedir a reação do piloto.¹⁶

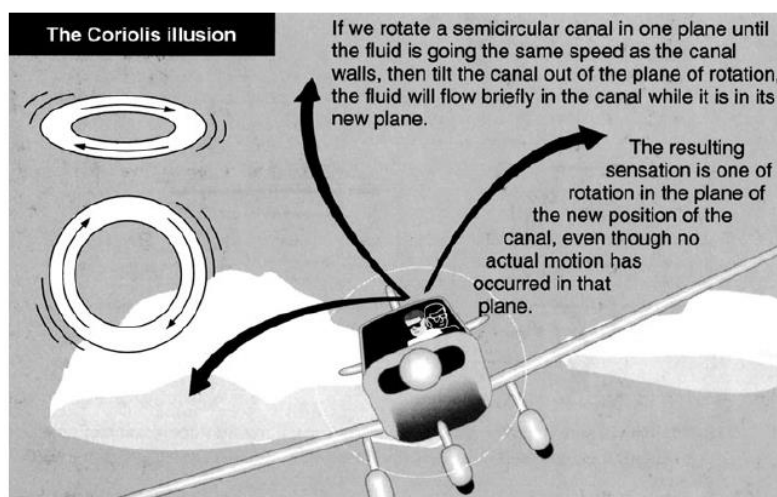


Imagem 20 - Ilusão de Coriolis¹⁶

Falsa sensação de inclinação: "The Leans"

É uma das ilusões mais sentidas pelos pilotos de jato (94% das DE sentidas pelos alunos da *US Air Force Advanced Instrument School*). Acontece quando, depois de prosseguir numa trajetória a velocidade constante e inclinado, o piloto volta a nivelar o avião e sente que está inclinado para o lado contrário, voltando a inclinar-se para o

lado inicial. Num voo de nível em más condições visuais o piloto torna-se especialmente suscetível ao desviar o olhar do painel de instrumentos.²⁸

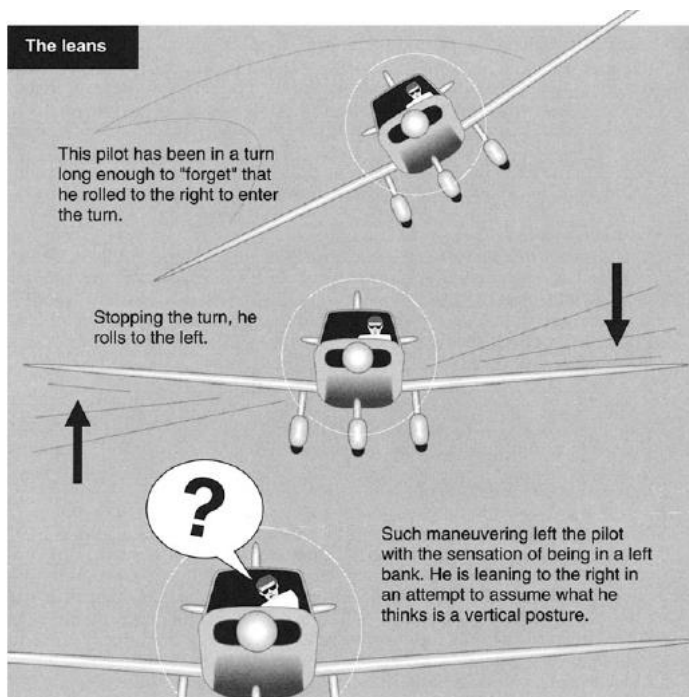


Imagem 21 - "The Leans"¹⁶

Ilusões envolvendo maioritariamente os otólitos

Ilusões Somatogravíticas

A aceleração sentida durante o voo, devido à inércia da otocónia, vai levar à inclinação da cabeça para cima e a desaceleração para baixo. Por outro lado, a força de aceleração inercial (força G) resultante da força inercial combinada com a gravidade dá um falso sentido de verticalidade ao piloto, que não consegue identificar a verdadeira vertical sem o *input* visual.

As ilusões decorrentes destes dois mecanismos dizem-se somatogravíticas. Do ponto de vista da ilusão visual associada (ilusão de subida /descida do nariz do avião e movimento contrário do painel de instrumentos: – *pitch up* ou *pitch down*), estas ilusões podem ser chamadas oculogravíticas. Seguem-se alguns exemplos:

- Alteração de perceção da atitude em curvas: durante uma curva coordenada, a aceleração centrípeta em combinação com a gravidade gera uma resultante que se alinha perpendicularmente com a mácula, dando ao piloto a falsa sensação que se

encontra em voo de nível. Já numa volta feita sem inclinação (volta não coordenada), tem a sensação de a estar a fazer inclinado para o lado oposto.²⁸

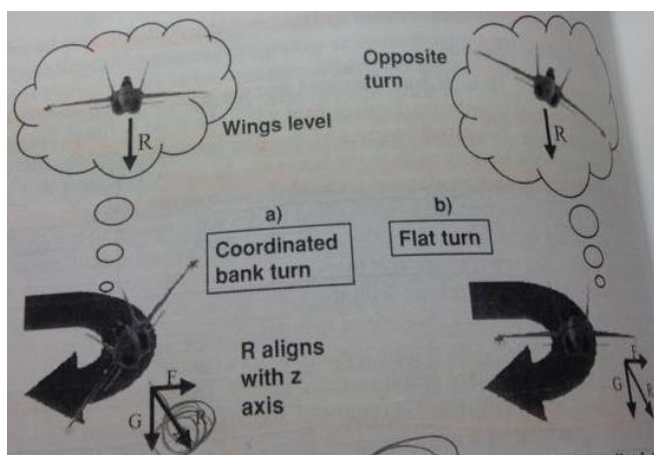


Imagem 22 - Ilusões somatogravíticas: Alteração de percepção da atitude em curvas²⁸

- Ilusões de aceleração e desaceleração (*pitch up e pitch down*): Traduz a falsa sensação de *pitch*, durante aceleração e desaceleração: durante uma aceleração, a força resultante aplicada sobre a otocónia (sentido baixo/trás) dá a sensação de que há uma inclinação do avião para cima. Durante uma desaceleração, acontece o oposto.¹⁶

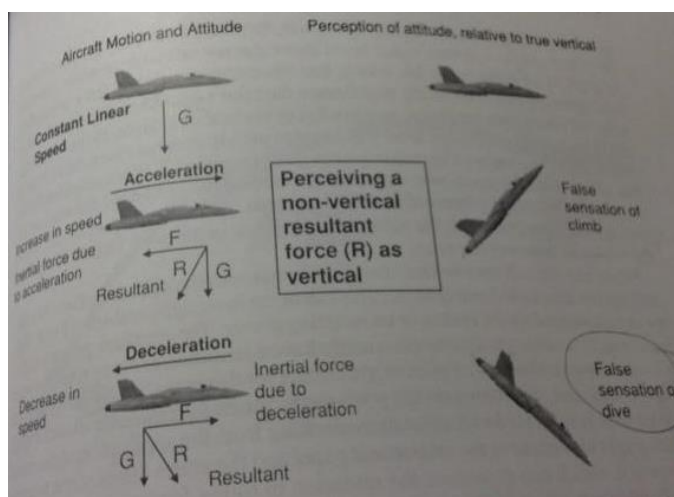


Imagem 23 - Ilusões somatogravíticas : ilusões de aceleração e desaceleração - *pitch up e pitch down*²⁸

- Ilusão de Inversão: durante uma subida rápida (especialmente se feita em arco), em aviões de alta performance, o rápido nivelamento leva a que se passe de uma situação de hipergravidade a hipogravidade, o que leva à inversão do vetor de força resultante quando se termina o dito arco para voar em nível (“aponta” para longe da terra). Tal transmite ao piloto a sensação de estar em voo invertido²⁶.

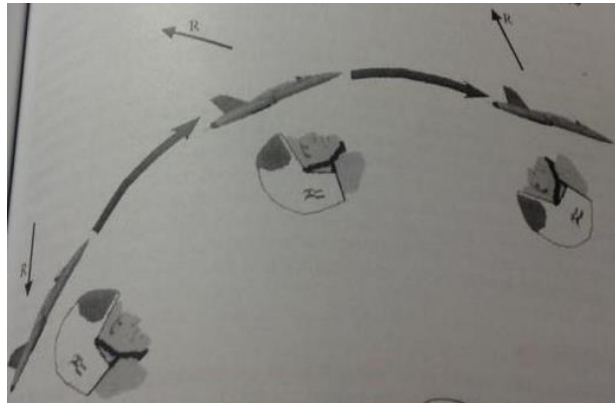


Imagem 24 - Ilusões somatogravíticas : ilusão de inversão²⁸

- Ilusão de subida/descida (*elevator illusion*): é uma ilusão causada pelo movimento ocular (para cima ou para baixo), associado a uma maior ou menor estimulação otolítica durante acelerações verticais, por exemplo perante uma rajada ascendente repentina.²⁶

Efeito em excesso da força G

Num ambiente de força igual ou superior a 2Gs, o efeito excessivo da força G estimula os otólitos de forma a condicionar uma percepção exagerada de inclinação (*tilt*) da cabeça. Concretamente, a figura em baixo mostra como o vetor de força perpendicular à mácula é maior para uma mesma inclinação em ambiente maior ou igual a 2G, levando o piloto a sentir que a cabeça esta mais inclinada.

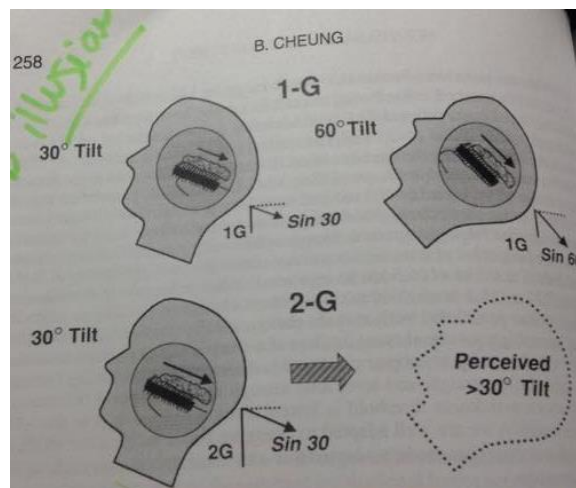


Imagem 25 - Efeito em excesso da força G²⁸

Esta situação acontece particularmente durante curvas em voos de formação, quando o piloto tem de movimentar a cabeça para seguir o avião ao seu lado e acaba a sentir que tem a cabeça inclinada mais do que na realmente tem e consequentemente

(porque o contacto visual está a ser feito com o outro avião e não com o seu), que o avião está menos inclinado. Consequentemente, vai inclinar mais o avião e baixar o nariz deste o que pode levar a uma perda de altitude. ²⁸

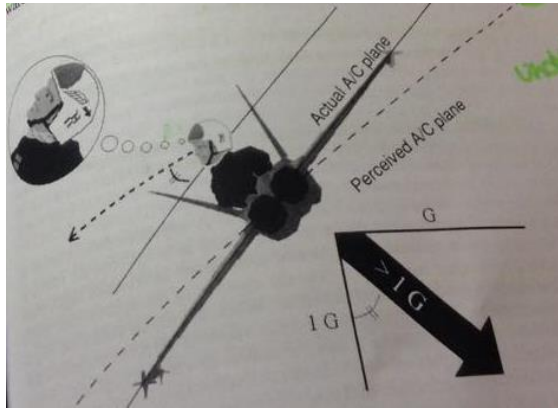


Imagem 26 - Consequência do Efeito de Excesso de força G^{28}

Ilusões de causa multi-factorial

Ilusão da Mão Gigante

É descrita como a percepção pelo piloto de que os controlos do avião são forçados numa posição extrema e que parecem ser segurados aí como que por uma “mão gigante”. Ainda não se encontrou uma explicação única para este fenómeno, considerando-se que é o resultado de uma resposta postural a um conjunto de situações psicofisiológicas a afetarem o piloto. Propõe-se que haja um papel do reflexo vestibulo-espinhal, já que há atividade aumentada dos músculos extensores quando o sáculo é sujeito a aceleração vertical e o utrículo a forças compressivas. Alguns dos fatores associados são ansiedade do piloto, distração da tarefa de controlar a atitude do avião e situações em que o vetor da força resultante inercial tem direção inversa.

Uma das estratégias usadas para contrapor esta situação é tentar manobrar o avião usando os dedos e não a mão completa para fazer um *bypass* ao VSR (qual controla os músculos proximais). ²⁸

Desorganização Vestíbulo-ocular

Ao recuperar de um *spin* ou terminar um *roll*, por vezes o VOR não consegue responder rápido o suficiente para fixar a imagem da retina, levando a que o piloto não consiga ter uma visão clara tanto do interior como do exterior do avião, quando a rotação prévia se dá a mais de 200 graus/segundo. O que acontece é que, perante uma rotação

mantida, os sinais que permitem desencadear o VOR decaem a tempos definidos para cada plano (16s para o guinar, 7s subir /descer o nariz, 4s para a inclinação lateral).²⁸

Vertigem Alternobárica, Enjoo de Movimento e predisposição para a DE

Vertigem alternobárica

A vertigem alternobárica é causada por mudanças rápidas de pressão no ouvido médio quando há variações de profundidade ou de altitude, especialmente se muito rápidas (como no mergulho e no voo). Esta situação pode levar a vertigem acompanhada (nos primeiros segundos) de nistagmo e sensação de plenitude auricular. Geralmente resolve segundos ou horas depois, espontaneamente.

Esta forma aguda de vertigem traduz uma estimulação inadequada (assimétrica) de um canal semicircular, o que se deve a uma pressão desigual exercida no ouvido médio sobre as janelas redonda e oval.^{13 9} Mais concretamente: quando se sobe em altitude há um decréscimo da pressão do ambiente, o que leva à expansão do ouvido médio forçando o ar a sair pela trompa de Eustáquio. Caso esta esteja comprometida, o ar “preso” no ouvido médio aumenta a pressão no mesmo e, quando esta pressão atinge os 50-60mmHg, é transmitida ao ouvido interno, estimulando-o. Se a estimulação se dá de forma assimétrica (abertura da trompa é assimétrica), há uma sensação ilusória de movimento.²⁹

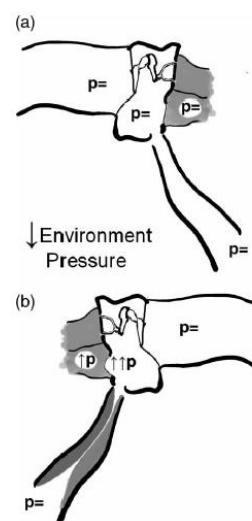


imagem 27 - Mecanismo da vertigem alternobárica : a) - situação normal ; b)- vertigem AB²⁹

Disfunções do tubo de Eustáquio são um especial fator de risco para o desenvolvimento de vertigem alternobárica.¹³

Clinicamente, esta situação traduz-se então por uma dificuldade inicial em equalizar a pressão nos dois ouvidos, seguindo-se de vertigem transitória (muitas vezes acompanhada de náusea e vômitos) geralmente acompanhada de nistagmo tipicamente horizontal (duração 10-20s), de aparecimento súbito, durante as subidas ou quando uma

manobra de valsalva é mal efetuada. Apesar de reverter facilmente, caso o avião seja colocado em nível, a intensa sensação de vertigem associada pode facilmente desorientar o piloto e impedi-lo de fazer as correções necessárias. Desta forma, a resolução desta situação depende da capacidade do piloto em reconhecer a condição e os seus fatores desencadeantes.²⁹

A real prevalência de vertigem alternobárica entre os pilotos é subestimada, considerando-se apenas uma prevalência de 10-17% segundo Lundgren³⁰. Para além de antigos (tendo em conta uma realidade em que as aeronaves eram muito menos potentes e a variação de pressão muito menor), os poucos estudos existentes pecam pela reduzida amostra e pelo facto de não haver um sistema estruturado de relato de ocorrências, que permita identificar se o piloto sofreu vertigem alternobárica durante o voo. No que diz respeito à realidade dos pilotos portugueses de jato (F-16), um estudo realizado em 2007, conclui uma prevalência de 29,2% nos pilotos portugueses e, embora a pequena amostra estudada não permita tirar conclusões sobre os principais fatores precipitantes, alguns que poderão estar associados são: infeções respiratórias das vias superiores, tabaco, rinossinusite e história de alergias. Já o oxigénio a 100% (irritante das vias aéreas superiores) e cirurgia prévia aos adenoides são considerados, mas não têm nenhum caso positivo descrito neste estudo. O consumo de álcool foi negado e a experiência de voo (número de horas de voo) não pareceu ser um fator influente. Contudo estes pilotos são sujeitos a rigorosos testes médicos à entrada para a Força Aérea e o próprio mecanismo da vertigem alternobárica permite que ocorra em indivíduos perfeitamente normais, pelo que o conhecimento desta situação é importante, independentemente da presença ou não de fatores de risco/desencadeantes. As entrevistas com os pilotos (tanto para a definição de vertigem alternobárica como para os questionar sobre a sua ocorrência) permitiram também perceber que, mesmo acontecendo mais que uma vez, nenhum dos entrevistados tinha feito relato ou considerado o conselho médico.²⁹

Enjoo de Movimento

Situação que afeta cerca de 11% dos alunos de pilotagem³¹ e que traduz uma resposta normal a um movimento não familiar, sendo variável de pessoa para pessoa. Apresenta uma causa multifatorial: adaptação ao voo, maior sensibilidade do sistema nervoso simpático, conflito vestibulo-proprioceptivo, ansiedade e apreensão perante o voo, e baixa motivação.³² Embora a etiologia não seja totalmente compreendida, é certo que o sistema vestibular e o seu conflito com os outros sistemas tem um papel de destaque. A

teoria do *mismatch* – conflito sensorial - defende que a ocorrência de enjoo de movimento é uma doença de adaptação resultante de um conflito intra e inter-sensorial gerado pelo movimento num ambiente diferente do referencial sob o qual temos estabelecido o nosso modelo cortical. Mais concretamente, há conflito entre os vários sistemas sensoriais: num avião em movimento, ao fixar os instrumentos, o sistema visual diz que se está parado, mas os sistemas vestibular e propriocetivo indicam movimento. Por outro lado, há também a considerar o conflito entre as informações sensoriais e as esperadas com base em experiências anteriores.³³

As manifestações são tão variáveis como a suscetibilidade individual ao enjoo de movimento: as náuseas e vômitos são os sintomas mais comuns aos quais se podem juntar, tonturas, distúrbios visuais¹⁶ e ainda palidez, sudção e cefaleias.³¹

Fatores ambientais estão também associados, o que justifica o aparecimento de sintomas prodrômicos mesmo antes do voo, ou a relação com condicionantes ambientais como o cheiro e a temperatura. O estado de repleção gástrica também favorece esta ocorrência. No que diz respeito às situações de voo mais associadas a esta situação, destacam-se: voo a baixo nível (com maior turbulência condicionada em parte pelas correntes térmicas), voos de alta potência (maior aceleração G) e voos de acrobacia.

Predisposição para DE

Embora a desorientação espacial durante o voo seja uma resposta fisiológica a um ambiente gravitoinercial alterado, algumas condições predisponentes podem potenciar a sua ocorrência. Seguem-se alguns exemplos:

Preponderância Vestibular Direcional

Alguns pilotos têm maior preponderância de nistagmo pós-rotacional para um lado do que para outro, assim estimulação de um lado gera um nistagmo pós-rotacional mais intenso do que a estimulação contra-lateral. Tal associa-se a maior número de ilusões com sensação de *roll* permanente e de viragem para o lado afetado.

VOR diminuído

Pilotos com VOR diminuído podem ter dificuldade em controlar o avião especialmente em condições de ausência ou diminuição das referências visuais externas.

Álcool e *Positional alcohol nystagmus* (PAN – Nistagmo Alcoólico Posicional)

Tanto o álcool como as drogas e medicamentos (incluindo alguns medicamentos que nem são sujeitos a receita médica (anti-histamínicos aumentam a sonolência por exemplo), podem aumentar muito a suscetibilidade do piloto à Desorientação Espacial. Concretamente, o álcool pode potenciar a DE por variadas vias: hipoglicémias, diminuição da concentração, lentificação dos reflexos e lesão direta do sistema vestibular. Em relação a esta última, está associada ao efeito da concentração de álcool na endolinfa *versus* a sua concentração no sangue, que a torna mais ou menos relativamente densa o que afeta a forma como a cúpula reage à deflexão. Consideram-se dois tipos de PAN (vertigem e nistagmo opostos em cada um dos tipos/fases que se podem suceder):

- PAN I – concentração de álcool é maior no sangue, o que faz endolinfa relativamente mais densa (fase excitatória).
- PAN II – a concentração do álcool aumenta na endolinfa relativamente ao sangue, e esta fica relativamente menos densa. Ocorre várias horas depois da ingestão (fase inibitória).²⁸

Parte 4 - Prevenção de Acidentes e Reabilitação Vestibular

Prevenção de acidentes causados pela desorientação espacial

No que diz respeito à prevenção de acidentes de causa humana, esta passa essencialmente por treino, planeamento de voo e existência e seguimento dos procedimentos existentes.

O treino diz respeito à habituação e sensibilização às condicionantes do voo (em treino real e em simuladores), conhecimento dos mecanismos de desorientação espacial (por meio de formações e também de *briefings*) e correto ganho de aptidões em voo por instrumentos.

O planeamento do voo e correto conhecimento dos procedimentos pré-estabelecidos surgem como medidas *life saving*, assumindo que o piloto reconhece que se encontra em situação de desorientação espacial, mesmo que não identifique exatamente qual o problema. A título de exemplo, num voo mono lugar, a chave para resolver a situação está no restabelecimento do domínio visual e na referência frequente aos indicadores de atitude e de altitude. Se os sintomas não melhorarem ou piorarem, deverá trazer-se o avião para a linha de voo, utilizando o indicador de atitude, e manter a mesma até que desapareçam.²⁷

Mecanismos de Treino e Reabilitação vestibular

A reabilitação vestibular define-se como um método terapêutico que visa a recuperação do equilíbrio e alívio das vertigens, tendo como fundamento uma estimulação repetida, sub-limiar sintomático, com o intuito de permitir uma adaptação do SNC. Indicações para a reabilitação vestibular:

- Deficits vestibulares unilaterais de instalação súbita;
- Deficits vestibulares bilaterais;
- Deficits multissensoriais nos idosos;
- Síndromes vestibulares centrais;
- Vertigens psicogénicas;
- Vertigens posicionais;
- Casos particulares da doença de Menière;
- Enjoo do movimento incapacitante.

No caso concreto de um piloto de jato, o principal objetivo será promover uma diminuição da sensibilidade a estímulos vestibulares intensos e a conflitos visuo-vestibulares, inclusive através de uma inibição do VOR. Tal pode ser feito com recurso a uma cadeira rotatória e a simuladores.

Seguem-se algumas técnicas usadas na aviação, e não só, e a sua potencial aplicação direta nas situações referidas no capítulo anterior.³⁴

Cadeira rotatória



Imagem 28 - Cadeiras Rotatórias / de Barany : à esquerda cadeira tradicional³⁵ à direita cadeira elétrica do STF - FA (Imagem cedida pela FA)

A Prova de Barany é utilizada no treino de pilotos militares, para estimular isoladamente cada canal de forma aproximadamente semelhante ao que acontece em voo, originando consequentemente nistagmo pós-rotatório que pode desorientar o piloto. Esta permite por um lado, avaliar a integridade dos canais vestibulares e do VOR e por outro, que os pilotos experimentem ainda em terra o efeito da excessiva estimulação de um canal e a ilusão correspondente desencadeada. Várias sessões nesta cadeira vão condicionando-os a utilizar os seus instrumentos e não confiar nas percepções, nomeadamente as visuo-vestibulares. Após várias rotações numa mesma direção e para dada posição da cabeça (com o piloto sentado e de olhos fechados), pede-se para o mesmo abrir os olhos, experienciando nistagmo em sentido contrário ao da rotação. A inclinação da cabeça estimula um

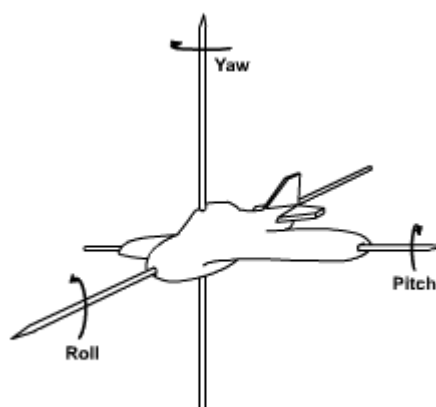


Imagem 29- 3 eixos do voo⁴³

determinado canal, e a rotação (horária vs anti-horária) permite estimular predominantemente o direito ou o esquerdo:

- 30° para a frente: estimulação dos canais horizontais, responsáveis pelo movimento de *yaw* (guinada para a esquerda ou direita) no eixo z que é mantido, por exemplo, durante os spins, estando associado a ilusões com a *graveyard spin*. No movimento horário (piloto roda para o seu lado direito) estimula-se o canal direito, havendo nistagmo per-rotatório para esse lado. Quando, após se atingir uma velocidade de rotação constante, a cadeira para, a endolinfa move-se para a esquerda e há nistagmo pós-rotatório horizontal de fase rápida para a esquerda que é o visualizado quando se pede ao piloto para abrir os olhos. No movimento anti-horário: resposta predominante do canal esquerdo com nistagmo pós-rotatório horizontal na fase rápida para a direita.



Imagem 30 - Treino na CR³⁶

- 60° para trás e 45° para o lado: estimulação canais anteriores (do lado para o qual estamos a rodar) ou dos posteriores (contralaterais). Está então a fazer-se uma rotação no plano do roll (eixo x), e a simular o que acontece por exemplo durante a ilusão “*the leans*”. No movimento horário e com rotação 45° para a direita há resposta predominante do canal semi-circular anterior direito (nistagmo rotatório horário com componente vertical inferior). Na rotação cefálica esquerda com movimento anti-horário ocorre uma resposta predominante do lado esquerdo (Nistagmo resultante rotatório anti-horário com componente vertical inferior). Alternativamente, procede-se a esta estimulação com a cabeça inclinada para a frente, sobre o joelho.

- Cabeça inclinada 90° sobre um dos ombros: estimulação do canal posterior contra-lateral ao ombro sobre o qual é feita a inclinação ou do anterior desse lado. Ambos

são responsáveis, por detetar o movimento de *pitch* (subida descida), no eixo y. A título de exemplo em relação à estimulação dos canais posteriores:

- Cabeça inclinada para a direita e movimento anti-horário: estimulação do canal posterior esquerdo (nistagmo vertical superior com torsional anti-horário).
- Cabeça inclinada para a esquerda e movimento horário: estimulação do canal posterior direito (nistagmo vertical superior com componente torsional horário).

37 34

Durante a rotação é também pedido ao piloto para indicar se está a rodar ou não, já que quando a rotação se mantém, a velocidade constante, a cúpula deixa de ser deflectida e o piloto tem a ilusão de estar parado, tal como acontece num *spin*, inclinação e curva mantidos à mesma velocidade. Podem ainda ser acrescentadas variações de velocidade, troca de sentido de rotações e alterações da posição da cabeça durante a rotação, o que permite simular outras situações como a ilusão de Coriolis. A estimulação repetitiva vai permitir uma dessensibilização para estas situações, condicionando o piloto a usar menos as informações dadas pelo sistema visual e vestibular e a confiar mais nos instrumentos.

Para situações mais complicadas, o piloto beneficia também da CR como método de reeducação vestibular, já que esta promove a compensação vestibular por intermédio de um mecanismo de substituição funcional que pode ser feita de duas formas: baixa frequência com fixação visual e a alta frequência. Na estimulação a alta frequência ($>400^\circ/\text{s}$) podem ser efetuados estímulos repetidos, por rotação da cadeira (tal como na prova de Barany) a uma frequência sub-limiar sintomático, seguidos de uma paragem brusca, com medição da duração de nistagmo rotatório. Pela repetição desse estímulo, haverá uma inibição central desse nistagmo. Por esse mecanismo de inibição central, haverá uma dessensibilização vestibular e uma menor probabilidade de ocorrerem vários dos tipos de vertigem descritos anteriormente, nomeadamente a ilusão oculogira.

A estimulação a baixa frequência ($<60^\circ/\text{s}$) é feita em rotação de cabeça fixa e adicionando um alvo seguro pelo piloto e que roda em conjunto com o mesmo, como uma vareta ou até o próprio dedo, que este deve fixar com o olhar. Podemos trabalhar a dessensibilização a estímulos otocinéticos/conflituosos: enquanto a visão focal se concentra num alvo fixo em relação ao piloto (a vareta ou o dedo) e a proprioceção dá a informação ao piloto de que está parado, a visão periférica e a sensibilidade vestibular informam-no de que está a rodar. A repetição desse estímulo permitirá ao piloto a adaptação a situações de conflito visuo-vestibular. Este estímulo obriga o SNC a ter que regular estes conflitos, inibindo neste caso a informação vestibular e o VOR e nistagmo

consequente. Pode ainda acrescentar-se a informação vestibular dos otólitos e dos recetores propriocetivos cervicais, introduzindo movimentos lentos da cabeça como flexão/extensão ou rotação. Desta forma, o objetivo desta técnica é o de promover a dessensibilização à estimulação optocinética.³⁴

É importante referir que a CR tem limitações de movimento e condicionantes em relação ao estímulo visual associado às ilusões em voo. Como a adaptação será tanto mais adequada quanto maior for a semelhança entre o exercício e a situação que desperta o conflito, será útil a realização de exercícios em simuladores que reproduzam os estímulos que poderão ser sentidos durante o voo. Note-se que a estimulação mais desafiante se verifica com estímulos no eixo do z (vertical).^{34 37}

Estimulador Optocinético

Este tipo de estimulação permite desencadear nistagmos optocinéticos de direção, sentido e intensidade variáveis, com o objetivo de diminuir o excessivo componente de estimulação visual e aumentar o ganho do sistema propriocetivo e vestibular. Concretamente, usa-se um globo perfurado com iluminação interna que projeta luz na parede de uma sala oval e escura (sem pontos de referência que permitam a fixação visual), girando em variados eixos a diferentes velocidades. O piloto deve olhar passivamente para os alvos enquanto se fazem estimulações horizontais e verticais em diferentes direções. Quando se desencadeia um nistagmo optocinético, o piloto sente que está imóvel e que a sala é que se move em sentido oposto ao do estímulo. Como resposta pode surgir um desvio postural. Quando se verifica este desequilíbrio repete-se o estímulo(s) desequilibrante(s), procedendo sempre à inversão para que se readquira equilíbrio postural. A estimulação optocinética visa assim diminuir a utilização da aferência visual.



Imagem 31 - equipamento de estimulação optocinética³⁴

Está contraindicada a realização de CR e estimulação optocinética na mesma sessão ou caso as respostas em CR a alta frequência não estejam normalizadas porque são dois estímulos que se anulam: CR com fixação a alta frequência aumenta a utilização da aferência visual e diminui a da vestibular, enquanto que a estimulação optocinética diminui a utilização da aferência visual.³⁴

Sistemas de Realidade Virtual

Estes sistemas permitem provocar alterações nas entradas visual, vestibular e somatossensorial, por forma a gerar reflexos VOR e VSR adaptativos. O piloto é sistematicamente submetido aos estímulos que geram conflito no seu sistema de controle postural, de forma a acelerar os mecanismos de neuroplasticidade. Os Simuladores utilizados para o treino de voo, ao terem a capacidade de simular diversas condições, movimentos e situações de desorientação espacial, podem ser usados com o mesmo intuito.³⁴ A sua aplicação a nível da FA diz mais respeito ao treino de procedimentos e manobras (como aproximação à pista, aterragem e descolagem) do que na simulação de manobras potencialmente desorientantes, até porque é difícil simular algumas destas. Daí que a melhor simulação seja a feita no chamado “voo à boleia”- voo demonstrativo em avião bilugar. A FA tem ainda no CMA um simulador de desorientação espacial – GYROGMA, do qual se falará neste capítulo.³⁴

Resposta médica a outras situações

Vertigem alternobárica.

O melhor tratamento para a vertigem alternobárica é a prevenção, pelo que o conhecimento das situações que a podem induzir, da sua sintomatologia e das maneiras de minimizar os seus efeitos ou perceber, no chão, se não há uma fácil equalização de pressões nos dois ouvidos é de extrema importância. É, desta forma, aconselhado que sejam feitos briefings pelos médicos aos pilotos.²⁶ A prevenção deverá ser feita, por um lado, através do correto conhecimento das manobras de equalização de pressão (Valsalva) e, por outro, através do conhecimento de situações que potencialmente a poderão desencadear e por isso são contra-indicação para o voo (infecção do trato respiratório superior ou exacerbações de uma rinite alérgica). O uso de descongestionantes nasais para situações menos graves ou como forma preventiva podem também ser feito: aplica-se um spray em cada narina (30 minutos antes do voo).

Em caso de ocorrência durante o voo, a repetição da manobra de valsava e o retorno a um nível de voo mais baixo são recomendados. Caso seja um quadro frequente ou associado a alguma patologia de base há outras opções mais invasivas mas incomuns nos pilotos, já que alterações anatómicas que condicionem grande probabilidade de ocorrência de vertigem alternobárica são detetadas nas provas de seleção, sendo algumas impeditivas e outras corrigidas.³⁸

Enjoo de Movimento

O tratamento depende da pessoa e da manobra/fator desencadeante, já que uma forte componente psicológica está associada (o medo de ficar nauseado pode ser o suficiente). Conselhos comuns são a devida hidratação, evitar ir voar de estômago vazio, evitar alimentos ácidos, gordurosos e a cafeína, dormir bem, não usar roupa apertada por baixo do fato de voo, praticar a respiração diafragmática durante o voo, não fazer movimentos bruscos de cabeça (daí a importância de evitar inclinações rápidas com a cabeça durante manobras e ter os equipamentos - como a caneta - presos ao fato de voo, para não se baixarem para os apanhar), manter pelo menos dois dedos no manche do avião (permite uma sensação de controlo e antecipar mudanças de movimento) e olhar para um horizonte em referência ao qual nos estamos a movimentar. A medicação usada, por exemplo no contexto naval (anti-histamínicos e parassimpaticolíticos como a escopolamina), para ter efeito tem que ser tomada antes do embarque e apresenta efeitos secundários, como a sonolência, que podem ter graves consequências em voo, não

estando os pilotos autorizados a tomá-la. Uma vez o enjoo instalado, não há forma de o reverter, daí que aprender a lidar com o mesmo seja essencial.³²

Desta forma, mais útil que a prevenção será a adaptação ao movimento provocativo.³⁹ A lógica defendida por Gradwell³⁹ é que a tripulação deve ser introduzida gradualmente aos movimentos provocativos e que, uma vez atingida a adaptação, esta deve ser mantida por exposição regular ao estímulo. Dadas as condicionantes do voo e a variabilidade individual na resposta a estas condições, é difícil fazerem-se *guidelines* específicas para este efeito.^{39 34} No que diz respeito à seleção de pilotos, durante a mesma são feitas manobras que despoletam estas reações, por forma a avaliar a capacidade de adaptação do candidato^{40 41 42}. Contudo, há cerca de 5% dos pilotos que não recuperam da fase inicial e mesmo um piloto experiente, após uma paragem prolongada, ou por uma situação psicogénica, pode ver-se incapacitado de voar em condições pelo enjoo de movimento. Nestas situações, faz-se a chamada terapia de dessensibilização. Esta existe em esquemas diferentes, sendo feita na RAF (*Royal Air Force*) com 3 semanas de treino no chão com exposição bi-diária a movimentos que despoletem ilusões como a de coriólis de intensidade progressiva, seguida de 10-15 h de voo. A Psicoterapia pode acompanhar este treino. Na USAF (*United States Air Force*) acrescentam-se ainda técnicas de readaptação/reabilitação vestibular.^{39 34}

Enjoo de movimento – treino realizado na Força Aérea Portuguesa

O programa de dessensibilização do enjoo de movimento na FA, é feito exclusivamente para alunos da AFA após 3 episódios de enjoo (com vómito e/ou incapacidade para continuar a controlar o avião) consecutivos (em continuidade de voo). Apenas se pode fazer o programa uma vez. O treino apresenta uma componente prática e outra de acompanhamento psicológico,^{41 42} numa lógica de exposição controlada aos estímulos desencadeantes com o objetivo, por um lado, do aluno identificar os sintomas prodrómicos do enjoo, conseguir gerir o stress associado e controlar os seus sintomas e, por outro lado, dessensibilizar e aumentar o limiar sintomático.³¹

O programa consiste em 5 dias de estimulação vestibular intercalada com entrevistas com o psicólogo:

- Inicialmente há uma exposição teórica sobre o enjoo do movimento, por forma a desmistificar esta situação.
- No primeiro dia elimina-se patologia orgânica (labiríntica, faz-se ionograma, elimina-se causa oftalmológica ou cardíaca) e realiza-se ainda VNG

(Videonistagmografia)⁴¹. Com o psicólogo tenta-se ainda perceber se houve alguma alteração da motivação e vida pessoal, (entre outros), que possa motivar o enjoo de movimento.⁴²

- Dias 2,3,4: fazem-se duas sessões de estimulação (manhã e de tarde) seguidas de acompanhamento com o psicólogo. A estimulação baseia-se em treino com a cadeira rotatória em várias posições, a rotação de intensidade crescente e de carga progressiva, atendendo aos primeiros sintomas do piloto. É dado ênfase ao reforço positivo e à capacidade de adaptação do piloto, após reconhecimento dos sintomas associados ao início do enjoo de movimento: relaxamento muscular, respiração estruturada, fixação e *coping* psicológico, pelo que o psicólogo se encontra presente nestas sessões. A estimulação é feita em ambiente escuro, sem ruído. Também pode ser feita fixação.^{41 42}
- Dia 5: Só de manhã nova estimulação, seguido de voo no início da semana seguinte. No fim, nova VNG e posturografia dinâmica computadorizada.⁴¹

Treino, Seleção e Perspetivas futuras

Na seleção dos pilotos, a avaliação do conflito visuo-vestibular e a avaliação da competência do mesmo em relação às condicionantes do voo baseia-se, maioritariamente, na experimentação do voo, indução de manobras mais suscetíveis e avaliação da resposta do candidato.¹⁷ Tal também se aplica no que diz respeito ao enjoo de movimento, embora alguns autores defendam ainda o uso de questionários de história pessoal (ênfase nas situações em que enjoa, história pessoal e capacidade de adaptação a novas situações) e testes provocadores.³¹

No caso da FA, a seleção, treino e prevenção da desorientação espacial baseia-se sobretudo na experimentação do voo. Especificamente em relação ao enjoo do movimento, após a seleção faz-se posturografia dinâmica computadorizada, embora não se tenha apurado grande relação com a sua futura ocorrência.⁴¹

O curso de fisiologia de voo tem também um papel na prevenção da DE quer através da formação teórica, quer através do treino prático. Este, particularmente no que diz respeito à desorientação de causa vestibular, apresenta as seguintes componentes:

- Rotações na cadeira de Barany. Maioritariamente estimulados os canais referentes aos eixos de *yaw*, *roll* e *pitch*, embora outras ilusões (como a de coriólis) possam ser feitas.



Imagem 32 - CR da FA: elétrica e tradicional. Imagens cedidas pelo STF da FA

- Treino no simulador de Desorientação Espacial - GYROGMA - Simulador com capacidade de rotação a 360° e movimentação nos eixos de *pitch yaw* e *roll*, podendo assim simular inclinações, rotações e ainda ilusões associadas à visão (aproximações à pista por exemplo), efeito para o qual na prática é mais usado por permitir simular várias manobras a efetuar em situações de voo IFR.



Imagem 33 - GYROGMA - à direita vista interior, à esquerda vista exterior.

Imagens cedidas pelo STF da FA

Importa ainda dizer que os mecanismos referidos ao longo deste capítulo, embora sempre referidos em relação ao piloto, podem também ser usados com o restante pessoal navegante (Navegadores, operadores de guincho e outros) que também passam pelo curso de fisiologia de voo.⁴⁰

Perspetivas futuras e sugestões

Candidatos com VOR diminuído, por consequência de lesões vestibulares, não devem ser admitidos para pilotos, dada a maior probabilidade de se verificar um quadro de desorientação ou simplesmente de dificuldade de focagem visual. Isso não anula, contudo, a necessidade de um treino de supressão do VOR para os futuros pilotos. Ou seja, o sistema vestibular tem de estar funcionando, mas o regulador no sistema nervoso central tem de ser capaz de o suprimir com sucesso.

Sugere-se também que seja realizado um desenvolvimento dos treinos com cadeira rotatória (especialmente com fixação), estímulos optocinéticos e simuladores.³⁷ Tal como explicado anteriormente, o treino com estes instrumentos pode permitir uma melhor preparação para cenários de conflito entre os sistemas propriocetivo, vestibular e visual. Poderá ser feita, por exemplo, uma medição da duração de nistagmos pós rotatórios, responsáveis por vários dos tipos de desorientação espacial, e um treino de supressão dos mesmos, como mencionado na secção anterior. Um aumento do treino em simuladores possibilitará um aumento da adaptação a situações de voo, antes de se iniciarem voos reais. Os conflitos visuo-vestibulares, podem ainda ser trabalhados por meio de estímulos optocinéticos, de forma a minorar a probabilidade de instalação de um enjoo do movimento.

Por outro lado, as medições da duração do nistagmo, da sensibilidade a estímulos optocinéticos e treinos em simuladores poderão até ser úteis como meio de pré-seleção, antes dos testes em voo e a par dos psicotécnicos já realizados. Faz-se esta sugestão não tanto para excluir candidatos saudáveis, mas para avaliar a necessidade de um futuro piloto ter mais treinos preparatórios em terra, antes de ser desafiado em voos teste. Desta forma, podem ser testadas assimetrias do VOR através de cadeira de rotatória e, mesmo que clinicamente não patológicas, podem ser corrigidas antes de se partir para situações de voo, por forma a diminuir a probabilidade de se verificar um quadro de desorientação espacial. Importa referir que a USN (*United States Navy*) encontrou forte correlação entre testes de interação vestibular-visual (ex: testes optocinéticos) com geração de conflito, e o desenvolvimento do enjoo de movimento durante o voo, tendo estes potencial para serem usados para triagem de candidatos a piloto,³⁹ nomeadamente rastrear pilotos que não serão capazes de tolerar, sem náuseas incapacitantes, estímulos intensos resultantes do voo em jatos. Assim é pertinente sugerir que, no caso da FA, em vez de se realizar a posturografia (que já mostrou ser inconclusiva), se passe a utilizar a estimulação optocinética para avaliar a suscetibilidade de um futuro piloto aviador a sofrer enjoo do

movimento, já que a posturografia serve para ver quão dependente se é, em ortostatismo, da visão, propriocepção e sistema vestibular para o equilíbrio ortostático.³⁷

Conclusão

A desorientação espacial pode ser definida como a perda de percepção ou percepção errada da posição do piloto e/ou da do avião, em relação ao eixo de coordenadas fixo/referencial constituído pela superfície da terra e gravidade vertical, ou seja, há desorientação espacial quando não se consegue determinar ou se determina de forma errada o movimento, atitude, velocidade e altitude do avião. Esta definição abrange também erros de percepção relativos à posição/movimento e atitude do piloto em relação ao “seu” avião e em relação a outros aviões. A sua ocorrência é extremamente comum e estima-se que seja uma das principais causas de acidentes aéreos de causa humana, embora nem todos os casos culminem em acidente. Contudo existe também um baixo número de relatos (não há um sistema adequado para o fazer), pelo que este número pode estar subestimado. O sistema vestibular tem um papel preponderante na orientação em voo, porém o facto do referencial imediato do piloto – o avião - se estar a mover também em relação à terra e ao campo gravitacional, aliado à ação da força G e à execução de manobras que permitem acelerações mantidas e por isso não detetadas, contribuem para a geração das chamadas ilusões vestibulares, uma das principais causas de DE. O facto de vários sistemas estarem integrados torna difícil a sua sistematização, no entanto destacam-se essencialmente as ilusões:

- Associadas aos canais semicirculares (ilusões somatogiras, de coriolis e “*the leans*”);
- Relacionadas com os otólitos (ilusões somatogravíticas associadas aos efeitos da força G).

Outras como a ilusão da mão gigante têm um mecanismo mais complexo.

Tanto em relação a estas, como a outras situações potencialmente desorientantes (vertigem alternobárica e enjoo do movimento), chegou-se à conclusão que os mecanismos são, na grande maioria dos casos, fisiológicos. Desta forma, apesar de poder haver alguma predisposição para estas situações, mais importante que avaliá-la na seleção dos pilotos, será treiná-los para que as reconheçam e saibam quando devem ignorar os seus instintos e confiar nos instrumentos. O recurso a simuladores, a instrução relativa a estas ilusões (teórica em aulas e *briefings* por partilha de experiências) e o treino em voo são todos essenciais, mas o treino com estimulação optocinética e com cadeira rotatória pode também ser muito útil, tanto nas fases de pré-selecção, como de preparação e adaptação.

Agradecimentos

Este trabalho de revisão, quer pela especificidade do seu tema, quer pelo material existente sobre ele se encontrar disperso, não poderia ter sido feito sem o apoio que tanto na FML, como na FA me foi dado.

Por isto mesmo começo por agradecer ao Prof. Dr. Marco Simão pela disponibilidade em receber este trabalho final de mestrado e ao Prof. Dr. Óscar Dias pelo interesse demonstrado. Devo um agradecimento especial ao Dr. Eduardo Ferreira, pela orientação, disponibilidade e conselhos ao longo de todo o trabalho que acabou por possibilitar uma aprendizagem conjunta nesta aérea.

A nível da FA, agradeço ao Coronel António Tomé, à Capitã Soraia Jamal e ao Sargento-Ajudante Rogério Ferreira, pelas entrevistas que me deram por forma a compreender melhor a realidade da FA no que toca à prevenção de desorientação espacial e enjoo do movimento, bem como pelo material por eles fornecido. À Capitã Teresa Matos e ao Dr. João Subtil agradeço respetivamente a bibliografia fornecida e a cedência do artigo “*Alternobaric vertigo: prevalence in Portuguese Air Force pilots*”. Agradeço ainda ao meu Comandante de Esquadrilha o Capitão Pedro Diniz e aos meus camaradas Alferes-Alunos Ana Baptista e André Maia, por toda a ajuda a compreender a realidade de um piloto e a sua perspetiva.

Por último e porque tudo o que nos empenhamos mesmo valendo a pena requer esforço, agradeço à minha família e amigos pelo apoio ao longo destes meses e ao meu namorado por me ter tanto apoiado e motivado, como por ser graças a ele que primeiro ganhei interesse no voo, aprendi os conceitos mais básicos de aviação e adquiri a vontade de trabalhar num tema que pudesse ser útil para a FA.

Entrevista Secção de Treino Fisiológico:

Data: 2016/02/15

Entrevistado: Sargento-Ajudante Rogério Ferreira

A secção de treino fisiológico tem primariamente uma função educativa nos pilotos em formação já seleccionados para ingressar como PILAV (piloto-aviador) na Academia da Força Aérea, através do curso de fisiologia de voo (4 dias de formação geralmente no 2º/3º ano), e do seu refrescamento (2 dias de duração) aos pilotos já nos quadros (5 /5 anos na maioria dos casos e 3/3 anos no F-16). O curso tem uma forte componente teórica e concretamente no que diz respeito à desorientação de causa vestibular apresenta as seguintes componentes práticas:

- Rotações na cadeira de Barany. Maioritariamente estimulados os canais referentes aos eixos de yaw, roll e pitch embora outras ilusões (como coriólis) possam ser feitas. O centro apresenta duas cadeiras: uma eléctrica e outra clássica.
- Treino no simulador de Desorientação Espacial -GYROGMA- simulador baseado no que é usado para o voo do avião Épsilon, de produção nacional, com capacidade de rotação a 360º e movimentação nos eixos de *pitch*, *yaw* e *roll*, podendo assim simular inclinações, rotações e ainda ilusões associadas à visão (aproximações à pista por exemplo), efeito para o qual na prática é mais usado por permitir simular várias manobras a efetuar em situações de voo IFR.

Entrevista CMA – Dr. António Tomé (COR/MED):

Data: 2016/02/16

Entrevistado: COR/MED António Tomé

Iniciou em 1999 o programa de dessensibilização ao enjoo do movimento, que é feito exclusivamente para alunos da AFA após 3 episódios de enjoos consecutivos (em continuidade de voo), sendo que os mesmos só podem passar por um programa. O treino é tanto funcional, como de terapêutica psicológica instituída desde o 3º ano do programa e que dá seguimento aos casos refratários (apenas cerca de 20%).

O programa: 5 dias:

- Inicialmente há uma exposição do que é o enjoo do movimento, por forma a desmistificar esta situação ao se mostrar causas, formas de resolver e sobretudo a ilustrar como uma situação que pode ocorrer. Esta é também feita durante o curso de fisiologia de voo previamente referido.

- No primeiro elimina-se patologia orgânica (labiríntica, faz-se ionograma, elimina-se causa oftalmológica ou cardíaca) e realiza-se ainda VNG. Importa referir que após a seleção faz-se já posturografia embora não se tenha apurado grande relação com a futura ocorrência de enjoo de movimento.
- Dias 2,3,4: duas sessões de estimulação (manhã e tarde) seguidas de duas sessões com o psicólogo. A estimulação baseia-se em treino com a cadeira rotatória em várias posições, a rotação de intensidade crescente de carga progressiva atendendo aos primeiros sintomas do piloto, sendo dado ênfase ao *positive reinforcement* e à capacidade de adaptação do piloto após reconhecimento dos sintomas associados ao início do enjoo de movimento: relaxamento muscular, respiração estruturada, fixação e *coping* psicológico. Feito em ambiente escuro, sem ruído. Também pode ser feita fixação.
- Dia 5: Só de manhã nova estimulação, seguido de voo no início da semana seguinte. No fim feita nova VNG e posturografia.

Entrevista Capitão Soraia Jamal – CPSIFA

Data : 2016/02/18

Entrevistado: CAP/PSI Soraia Jamal

O apoio da psicologia ao futuro piloto aviador, no contexto do enjoo de movimento, começa durante o estágio de seleção de voo. Dada a forte componente psicogénica associada ao enjoo (medo inconsciente de voar, ansiedade, problemas pessoais, a pressão para que não ocorra enjoo e medo que volte a ocorrer), um acompanhamento psicológico face a um episódio de enjoo no voo pode resolver *per se* o problema. Concretamente, na seleção faz-se uma sessão de acompanhamento, sendo que 3 enjoos (com vômito, ou seja, perda da capacidade de controlar a aeronave) consecutivos levam à eliminação do candidato (é tido como inapto). Já depois de ingressarem na Academia e dada a pouca continuidade em voo durante os primeiros 4 anos, uma situação de enjoo é acompanhada da mesma forma, caso haja necessidade e especialmente se se verificar mais que uma vez. Durante as entrevistas (tanto estas como as que tiverem lugar posteriormente no plano de reabilitação do enjoo de movimento, se este se mostrar necessário), deve ser dada atenção a mudanças na vida pessoal e profissional e de alguns traços pessoais, como a necessidade de controlo e ansiedade face aos problemas do futuro, e ainda a existência de um possível padrão de enjoo ou medo inconsciente de voar para o qual o enjoo de movimento pode ser um sintoma. Esta última situação nunca deve ser

abordada diretamente. Durante a seleção, importa ainda questionar o candidato sobre situações em que enjoa e fatores desencadeantes.

Só durante o tirocínio se aciona o plano de reabilitação do enjoo de movimento. Durante as sessões na cadeira rotatória, o psicólogo está presente para ajudar a trabalhar a gestão de ansiedade perante os primeiros sintomas, nomeadamente através de técnicas de relaxamento, técnicas imagéticas e controlo da respiração (respiração diafragmática), numa atitude de *positive reinforcement*. Na primeira entrevista, é importante avaliar a personalidade, comparar fatores motivacionais e outros que se tenham alterado e realizar o TAT aeronáutico (teste de apercepção temática em que algumas imagens relacionadas com a aviação são mostradas e é pedido ao aluno que fale sobre elas). Todo este trabalho assenta numa permanente interação cognitivo-comportamental. Durante os restantes dias, os alunos idealmente devem ficar alojados no Hospital das Forças Armadas para não estarem num contexto de pressão.

A Capitão referiu ainda que da sua experiência, a maior parte dos casos tem um forte componente psicogénico.

Bibliografia

1. Mckinnis LN, Ciccone CD, Michlovitz SL, et al. *Vestibular Rehabilitation - 4th Edition*.
2. Lee SC, Meyers AD. *Vestibular System Anatomy*. 2013:1-6.
<http://emedicine.medscape.com/article/883956-overview>.
3. Benninger MS. Scott-Brown's Otorhinolaryngology: Head and Neck Surgery 7Ed. In: *Scott-Brown's Otorhinolaryngology: Head and Neck Surgery 7Ed.* ; 2008:1439-1447. doi:10.1201/b15118.
4. Prometheus - Cabeça e Neuroanatomia (Spanish).pdf.
5. Soares JD. *Semiologia Médica*. Lisboa: Lidel; 2007.
6. Hall JE. *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology*. ,2010
7. Pimentel, José ; Ferro J. *Neurologia Fundamental*. (L, ed.). Lidel; 2013.
8. Tascioglu A. *Brief review of vestibular system anatomy and its higher order projections. Aging (Albany NY)*. 2005;4:24-27.
9. Brandt T, Dieterich M. *The vestibular cortex: Its locations, functions, and disorders. Ann N Y Acad Sci*. 1999;
10. What-when-how - <http://what-when-how.com/neuroscience/auditory-and>.
11. Everling, S. ; Gilchrist, I. ;Liversedge S. *Oxford Handbook of Eye Movement*. 1st ed. Oxford University Press; 2011.
12. Purves D, Augustine G, Fitzpatrick D, et al. *E. Central Vestibular Pathways: Eye, Head, and Body Reflexes. Neurosci 2nd Ed*. 2001:2-4.
13. Brandt T, Dieterich M, Strupp M. *Vertigo and Dizziness.*; 2013. doi:10.1007/978-0-85729-591-0.
14. Guerra M. *Semiologia Do Sistema Nervoso*. Lisboa: secção editorial aefml; 2012.
15. Pearce JMS. *Benign Paroxysmal Vertigo, and Caloric Reactions. Eur Neurol*. 2007;
16. Reinhart RO. *Basic Flight Physiology*. 3rd ed.; 2008.
17. Gradwell, David J.; Rainford DP. *Ernsting's Aviation Medicine* - chapter 23; 2006.
18. Anderson JDJ. *Introduction to Flight*. 5th editio. International, McGraw-Hill; 2005.
19. Aviation Medicine - ww.avmed.in/2012/06/g-force-what-is/.
20. Previc, F & Ercoline W, Previc F, Ercoline W. *Spatial Disorientation in Aviation* - chapter 1 ; 2004. doi:10.2514/4.866708.

21. Federal Aviation Administration. *Pilot 's Handbook of Aeronautical Knowledge*. In: *Aircraft Instruments Systems*. ; 2008:chapter 10. doi:10.1016/S0740-8315(86)80070-5.
22. Authors V. Airplane flying Handbook. In: *Flight Maneuvres*. :, US department of transportation; Federal Aviation Administration; 2004.
23. Aircrafts Recognition - http://www.aircraftrecognition.co.uk/barrel_roll.h.
24. Gradwell, David J. ; Rainford DP. *Ernstings's Aviation Medicine*- chapter 18; 2006.
25. Gradwell, David J. ; Rainford DP. *Ernstings's Aviation Medicine*- chapter 28. 4th edition.; 2006.
26. Portuguesa S-FA. *Manual de Fisiologia de Voo*.
27. Portuguesa FA. *Manual de Teoria de Instrumentos E Planeamento*.; 2012.
28. Cheung B, Previc, F & Ercoline W, Previc F, Ercoline W. *Spatial Disorientation in Aviation* - chapter 6.; 2004.
29. Subtil J, Varandas J, Galvão F, Dos Santos A. *Alternobaric vertigo: prevalence in Portuguese Air Force pilots*. *Acta Otolaryngol*. 2007;
30. Lundgren CEG. *Alternobaric Vertigo- a diving hazard*. 1965;(British Medical Journal).
31. Dobie, TG; May J. *Cognitive Behavioral Management of Motion Sickness*. *Aerosp Med Assoc*.
32. King RE. *Aerospace Clinical Psychology*.; 1999.
33. Albernaz, Pedro Luiz Mangabeira ; Carmona, Sergio ; Maia FCZ. *Otoneurologia Atual*. In: *Capítulo 28 - Cinetoses*. 1ª Edição. Rio de Janeiro: Revinter; 2014.
34. Albernaz, Pedro Luiz Mangabeira ; Carmona, Sergio ; Maia FCZ. *Otoneurologia Atual*. In: *Capítulo 32 - Reeducação Vestibular*. 1ª Edição ed. Rio de Janeiro: Revinter; 2014.
35. wouter venema - <http://www.woutervenema.nl>.
36. US Air Force - [p://www.af.mil/News/ArticleDisplay/tabid/223/Ar](http://www.af.mil/News/ArticleDisplay/tabid/223/Ar).
37. Albernaz, Pedro Luiz Mangabeira ; Carmona, Sergio ; Maia FCZ. *Otoneurologia Atual*. In: *Capítulo 11 - Cadeira Rotatória*. 1ª Edição. Rio de Janeiro: Revinter; 2014.
38. Passerotti G. *Barotrauma em Otorrinolaringologia*. *Dep ORL da USP*.
39. Gradwell, David J.; Rainford DP. *Ernsting's Aviation Medicine*- chapter 29; 2006.

40. Entrevista STF - Sarg. Aj. Rogério Ferreira - Em Anexo.
41. Entrevista CMA - COR/MED António Tomé - em Anexo.
42. Entrevista CPSIFA - CAP/PSI Soraia Jamal - em Anexo.
43. Machine Design - <http://machinedesign.com/engineering-essentials/wh>.